

## 폐식용유를 사용한 디젤기관에서의 LPG 공급에 의한 성능개선에 관한 연구

조기현\* · 황의현\*\* · 백태실\*\*\* · 정형길\*\*\*\*

### A study for the Performance Improvement by Fumigation LPG on Diesel Engine using a Used Frying Oil

K. H. Cho\* · U. H. Hwang\*\* · T. S. Baek\*\*\* · H. K. Chung\*\*\*\*

**Key words** : Diesel engine(디젤기관), Used Frying oil(폐식용유), Fuel Heater(연료가온기)  
Exhaust emission(배기배출물), Liquefied Petroleum Gas(액화석유가스)

#### Abstract

In this study, using frying oil, performance of engine and emission concentration were compared with the case of using diesel oil. And results are as follows.

1. Engine torque and brake horse power indicate nearly same value as the case of using diesel fuel.
2. Temperature of exhaust gas was increased with as high engine speed and load.
3. To reduce concentration of hydrocarbon, it is effective to operate using used frying oil in low engine speed and load, and adding LPG in high engine speed and load.
4. Concerning with concentration of carbon mono oxide and smoke emission, it was assured, that as engine load increased, lower concentration emitted in case of utilizing mixed fuel than that of utilizing pure diesel fuel.

#### 1. 서 론

최근 산업이 급속도로 발전함에 따라 가속화된 에너지 소비는 석유계연료의 비축량 감소와 그 연

소배출물에 의한 심각한 환경오염을 유발하고 있다. 이에 따라 석유자원의 고갈에 대비한 대체에너지 개발이 시급하며, 배기가스규제 기준이 더욱 더 엄격해짐에 따라서 새로운 대체에너지원으로서

\* 경도대학 차량기계학과(원고접수일 : 2000년 10월)

\*\* 경도대학 토목환경과

\*\*\* 포항1대학 자동차과

\*\*\*\* 경상대학교 대학원

여러 연구자들에 의해 거론되어진 것들은 전기에너지, 수소에너지, 태양에너지, 메탄올, 에탄올, 메탄가스 및 천연가스등이며, 이러한 에너지원들은 매장량의 풍부성과, 유용성이 높은 반면, 디젤연료와 비교할 경우 기관의 열효율이 낮고, 연료의 보관상 문제등 여러 가지 문제점을 내포하고 있다. 또한, 디젤기관에서 사용 가능한 대체 연료 및 혼합연료로서 주목 되고 있는 것은 앞에서 언급된 연료들 중에서도 식물유 및 천연가스 또는 LPG의 이용이 증가 되고 있다.

대체 연료로서 폐식용유의 연료 특성은 공급이 충분하며 경유에 비해서 발열량은 약 90%이상으로 대체연료로서 충분한 사용 가능성을 가진다. 폐식용유는 고점성이며, 저휘발성이므로 기관내부의 카본 퇴적현상 및 윤활불량을 초래하기도 한다<sup>(1)</sup>. 한편, 식물유를 대체연료로 디젤기관에 사용한 예로서 나<sup>(2)</sup>, 주<sup>(3)</sup>등의 연구에서는 미강유에 대한 연구를 하였으나, 폐식용유에 대한 연구는 극히 드물다. 한편, 전기점화기관의 대체연료로서 최근 사용이 급증되고 있는 액화석유가스(LPG)는 부탄을 주성분으로 하는 청정연료로서, 옥탄가가 높고 가격이 싸며, 자동차는 물론 가정용 및 공업용 연료로 널리 보급되고 있어 공급이 용이한 이점이 있다<sup>(4)</sup>. 그러나, LPG를 디젤기관에 적용할 경우의 문제점으로는 경유에 비해 압축축화가 어려우며, 또 비등점이 낮고 증발잠열이 크기 때문에, 특히 겨울철에는 기관의 시동성을 더욱 저하시키는 문제점이 있다. 반면에, 종래의 디젤기관을 간단히 개조하여 탄소미립자 배출량이 특히 많은 중·고부하 영역에서 주 연료인 경유의 분사량을 증가시키는 대신 LPG를 예혼합 흡입시켜 배기가스의 개선을 꾀할 수 있는 보조연료로서의 사용이 가능한 잠재력을 갖고 있다. 이 방법은 종래의 디젤기관을 크게 개조하는 과정 없이 사용할 수가 있어 실용화 가능성도 매우 높다.

경유 연료의 경우 NOx 및 smoke의 발생이 문제이므로, 연료의 혼합에 있어서 LPG를 혼합하여 NOx, smoke 및 기타 배기가스의 저감방법으로 디젤연료에 대해 일정한 비율로 LPG를 첨가시, 디젤의 연료계통을 그대로 유지시키면서 디젤기관의 성능향상 및 배기가스 저감과 연료소비를 향상을 나타내었다<sup>(5)</sup>. 기체연료를 디젤기관에 적용시켜

혼합연료를 사용하여 연소를 일으키는 방법으로는 pilot injection, fumigation<sup>(6)</sup> 및 Vigom press injection등이 있다.

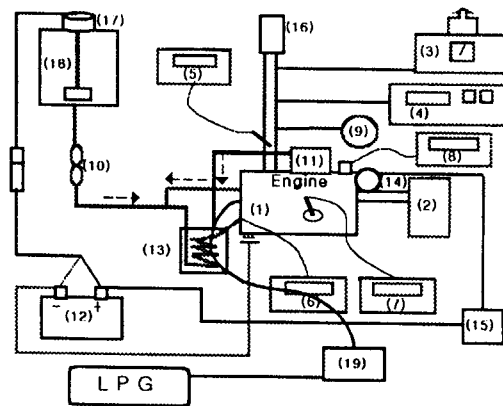
따라서, 본 연구에서는 디젤기관의 대체에너지 개발과 성능향상 및 배기가스 저감을 위한 기관의 개발을 위해서 경유, 폐식용유, 폐식용유에 LPG 첨가시 기관의 회전수, 부하에 따른 기관의 성능향상과 배기가스농도 등을 규명하여 최적의 운전조건을 산출하고자 한다.

## 2. 실험장치 및 실험방법

### 2.1 실험장치의 구성

본 실험에 사용된 전체적인 계략도는 Fig. 1에 나타내었다.

이 시스템은 기관-동력계, 연료공급계, LPG 공급장치, 배기가스 분석장치 및 각부온도 측정장치 등으로 구성되어 있으며, 기관은 무과급 단기통 직접분사식 디젤기관(99년식 국내 농업기계 D사 모델)을 사용하였으며, 주요제원은 Table. 1과 같다.



- |   |                               |
|---|-------------------------------|
| 1) Engine                               | 2) Engine dynamometer         |
| 3) Smoke tester                         | 4) Exhaust gas analyzer       |
| 5) Exhaust gas temperature indicator    | 6) Fuel temperature indicator |
| 7) Oil temperature indicator            | 8) RPM indicator              |
| 9) Exhaust pressure indicator           | 10) Burette                   |
| 11) Cooling water temperature indicator |                               |
| 12) Battery                             | 13) Fuel heating tank         |
| 14) Starting motor                      | 15) Starting switch           |
| 16) Exhaust pipe                        | 17) Fuel mixer                |
| 18) Fuel tank                           | 19) LPG Flow meter            |

Fig. 1 Schematic diagram of the engine performance test system

Table 1. Engine specification and experimental conditions

| Item             |                                       | Spec & Condition                       |  | Remark          |
|------------------|---------------------------------------|--|--|-----------------|
| Engine           | Type                                  | Water Cooled, 4 Cycle Direct Injection |  |                 |
|                  | Bore × Stroke(mm)                     | 92 × 95                                |  |                 |
|                  | Displacement(cc)                      | 631                                    |  |                 |
|                  | Compression Ratio                     | 19 : 1                                 |  |                 |
| Test Condition   | Speed(rpm)                            | 1000,1200,1400,1600,1800, 2000,2200    |  |                 |
|                  | Load(%)                               | 4/4                                    |  |                 |
|                  | LPG Supply (l/min)                    | 0.05, 0.1, 0.15                        |  |                 |
|                  | Coolant Temperature (℃)               | 80                                     |  |                 |
|                  | Injection Timing (°)                  | BTDC 22°                               |  |                 |
|                  | Opening Pressure(kg/cm <sup>2</sup> ) | 220                                    |  |                 |
|                  | Injection Nozzle                      | ∅0.3, 4 holes                          |  |                 |
| Measurement Item | Exhaust Gas Analysis                  | Smoke(%)                               | DBC-1000<br>(filter paper reflection type) |                 |
|                  |                                       | NOx(ppm)                               | rbr-ecom JN tester                         |                 |
|                  |                                       | HC(ppm)                                | rbr-ecom JN tester                         |                 |
|                  |                                       | CO(vol %)                              | rbr-ecom JN tester                         |                 |
| Fuel             | Specification                         | Diesel oil                             | UF oil                                     | LPG             |
|                  | (A/F)th Ratio                         | 14.37                                  | 14.2                                       | 15.43           |
|                  | Specific Gravity                      | 0.84                                   | 0.92                                       | 2.0068 / air(1) |

연료공급은 폐식용유를 주연료로 사용하였으며, 폐식용유는 경유에 비해 점성이 높으므로 연료를 기관에 적용하여 공급하기전에 배기가스의 폐열을 이용한 배기가스 열교환기를 이용하여 폐식용유를 60~80℃까지 가열하여 사용하였다. 배기가스 열교환기의 구조는 그림 2에서와 같이 열전도성이 좋은 동파이프(∅12, 1.2M)를 사용하여 배기매니폴더로부터 폐열을 이용하여서 공급연료를 가열하였으며, 연료의 과열방지를 위해 동파이프 주위를 흐르는 냉각수의 유량을 조절하여 적정온도를 유지하도록 제어하였다. 폐식용유의 공급유량은 연료소비계(뷰렛 100cc-2구)를 이용하여 시간당 공급유량을 측정하였으며, LPG의 공급은 충전된 LPG실린더에서 압력조절기에 의해 1.2kg/cm<sup>2</sup>의 정압으로 감압하여 사용하였고, 감압된 LPG는 질량유량계(Tylan General MFC-290) 및 유량조절밸브를 거쳐서 흡입공기와 혼합하여 실린더내에 공급하였다. 기관의 회전수와 부하를 제어 및 측정하기 위한 기관성능실험을 위해서 150KW급 와전류식 동력계를 사용하였으며, 공시기관과 동력계를 스플라인 축으로 직결하고, 축의 파손에 대비해 안전커버를 설치하였다.

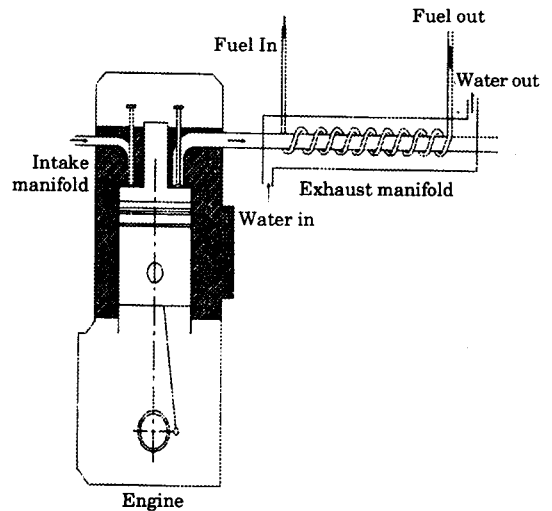


Fig. 2 Schematic diagram of the fuel heater

배기가스중의 오염물질을 측정하기 위해서 본 연구에서는 독일의 rbr-Computertechnik GmbH사에서 제작한 rbr-ecom JN측정기를 사용하였다. NiCr/Ni thermoelement를 장착한 직경 13mm, 길이 250mm의 coaxial probe를 기본장치로하며, 400℃의 온도 범위까지 측정이 가능하며, 이 장치

는 O<sub>2</sub>, CO, NO 및 NO<sub>2</sub>의 동시 측정이 된다. NO와 NO<sub>2</sub>를 전체 NO<sub>x</sub>값으로 표시하였으며, 배기가스 온도는 열전대(CA-Ø3)를 이용하여 측정하였다.

### 2.2 실험방법

본 실험에서는 경유, 순수폐식용유, 폐식용유와 LPG 혼합연료를 사용하여 LPG의 첨가율을 변화시키면서 실험 하였다. 각 연료에 대한 성분 분석의 결과는 Table 2와 같고 연료의 종류는 Table 3에 나타내었으며, 식 (1)은 세탄지수 산출식을 표기 하였다.

본 실험에 사용된 폐식용유의 점도는 39.19cSt로 경유의 3.628cSt에 비해 약 11배 정도 높은 고점성의 연료로서, 연료의 공급성이 떨어지므로 높은 송출압력이 요구되며, 분무시 분무입자의 입경이 크기 때문에 분산성이 불량하여, 착화지연이 길고 불완전연소가 발생되어 연료소비율의 증가를 가져오게 된다.

Table 3. Experimental fuels

| Fuel | Composition            |
|------|------------------------|
| D    | NO. 2 Diesel oil       |
| UF   | Used frying oil        |
| LP-1 | UF+LPG add (0.15l/min) |
| LP-2 | UF+LPG add (0.1l/min)  |
| LP-3 | UF+LPG add (0.05l/min) |

Table 2. Physical and properties of the tested fuel

| Item                          | Test method | Diesel oil | Used Frying oil | LPG    |                    |
|-------------------------------|-------------|------------|-----------------|--------|--------------------|
| Viscosity (40℃, cSt)          | ASTM D445   | 3.628      | 39.19           | -      |                    |
| Pour Point (℃)                | ASTM D97    | -15.0      | 5.0             | -11.73 |                    |
| Cetane Index                  | ASTM D4737  | 51.22      | 36.34           | -      |                    |
| Higher Calorific Value(cal/g) | ASTM D240   | 10,890     | 9,370           | 11797  |                    |
| Composition (%)               | C           | ASTM D5291 | 86.21           | 76.87  | Commerical LPG     |
|                               | H           | ASTM D5291 | 13.21           | 12.0   | for Automotive     |
|                               | N           | ASTM D5291 | 0.13            | 0.15   | (butane 90% above) |

[ASTM D4737]

$$CI = 45.2 + (0.0892)(T10n) + [0.131 + (0.910)(B)][T50n]^2 + [0.0523 - (0.420)(B)][T90n] + [0.00049] [(T10n)^2 - (T90n)^2] + (107)(B) + (60)(B)^2$$

여기에서

T10 : 10%유출온도(°C), T10n : T10 - 215

T50 : 50%유출온도(°C), T50n : T50 - 260

T90 : 90%유출온도(°C), T90n : T90 - 310

D : 비중(15°C), DN : D - 0.85

B :  $[e^{-3.5 \times 10^{-4} DN}] - 1$

(1)

따라서 본 실험에서는 점도를 낮추어서 분무성을 좋게하기 위해 폐식용유를 배기가스 열교환기를 이용하여 60~80°C로 가온하여 사용하였으며, 연료 공급시 LPG를 흡입공기와 혼합하여 착화지연을 짧게 하고, 완전연소가 이루어지도록 하였다.

연료의 공급 방법으로서 경유 및 폐식용유에는 노즐로부터 직접 실린더내에 분사하는 직접분사식을 채택하였고, LPG에는 기관의 흡기매니폴드에 공급하는 방법을 채택하였다. 기관의 운전조건은 1000rpm, 1200rpm, 1400rpm, 1600rpm, 1800rpm, 2000rpm 및 2200rpm의 회전속도를 유지하도록 하였다.

또한, 배기가스의 측정에 있어서는 우선 기관을 정상적인 운전조건까지 충분히 가열한 후 5분동안 연속 3번 측정된 값의 평균값으로 산출하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 기관 성능(기관출력)

Fig. 3과 Fig. 4는 동력계의 부하를 4/4로 유지하면서 기관의 rpm을 1000, 1200, 1400, 1600, 1800, 2000, 2200으로 제어하고, 경유, 폐식용유, 폐식용유에 LPG첨가시 각 실험연료에 의한 발생토크와 제동마력을 측정하였다.

기관토크는 경유와 폐식용유, 폐식용유와 LPG 혼합연료의 LPG 혼합을 증가에 따라 기관회전수를 변화시킨 결과 큰 차이를 나타내지 않고 약 44~47(N·m)의 범위를 나타내고 있으며, 모든 연료에서의 최대 토크는 약 1600rpm에서 나타났으며 이는 경유의 경우와 거의 일치한다. 제동마력은 회전수의 증가에 따라 경유에서 증가하는 비율과 같이 순수폐식용유 및 폐식용유와 LPG 혼합연료에서 또한 증가하는 것으로 나타났다. 또, 전체적으로 볼 때 폐식용유의 경우에만 경유에 비해 약 3%정도의 출력저하를 나타내었을 뿐 다른 연료들은 경유와 같은 출력을 나타내었다.

이는 폐식용유를 60~80°C정도 가열 함으로 인

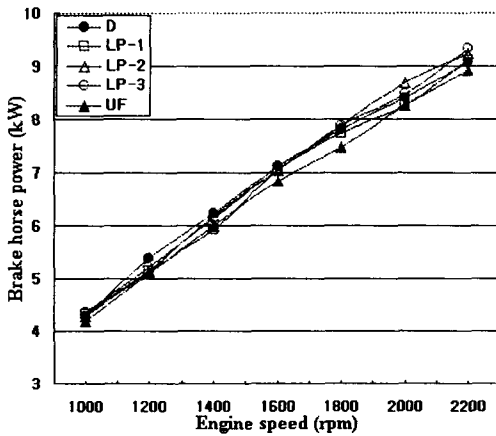


Fig. 3 Torque vs. engine speed for 5 fuels

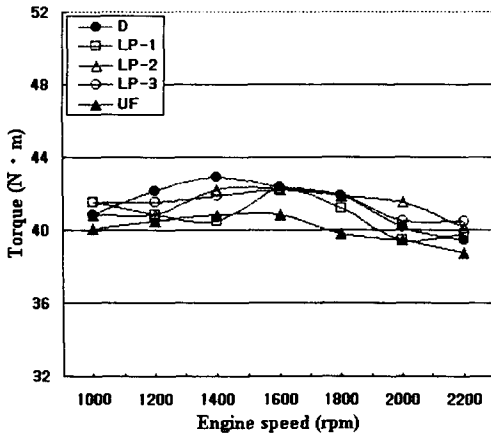


Fig. 4 Brake horse power vs. engine speed for 5 fuels

해 연료의 점도저하가 나타났기 때문으로 볼 수 있다. 위와 같은 결과에서 폐식용유와 폐식용유+LPG 혼합연료들이 경유와 같은 출력을 보이므로, 디젤연료의 대체연료로서 폐식용유의 사용 가능성을 보여 주었다.

### 3.2 제동 연료소비율

Fig. 5는 4/4부하시 회전수 변화에 따른 각 실험 연료들의 제동연료소비율을 나타낸 것이다.

연료소비율 계산에서 LPG는 무시하였다. Fig. 5에서 폐식용유의 경우 경유에 비해 20%의 연료소비율 증가를 보였으며, 폐식용유에 LPG 혼합을 증가시키에 따라서 연료소비율의 현저한 감소를 나타내었다. LP-1 혼합연료의 경우에는 경유에 비해 약 10%정도 연료소비율이 감소하는 것으로 나타났다. 하지만 LP-1혼합연료를 제외한 모든 연료가 경유 사용시 보다 조금 높은 연료소비율을 나타내고 있다. 폐식용유의 경우 경유에 비해 높은 연료소비율을 보이는 것은 폐식용유가 경유에 비해 약 86%의 낮은 발열량을 가지고 있으며, 착화 지연 및 불완전연소에 따른 증가인 것으로 사료된다.

### 3.3 배기가스 온도

Fig. 6은 기관 회전수 변화에 따른 각 실험연료들의 배기가스 온도를 나타낸 것이다. 모든 실험연료에서 기관 회전수의 증가에 따라 배기가스 온도가 증가하는 것으로 나타났으며, 폐식용유에 LPG

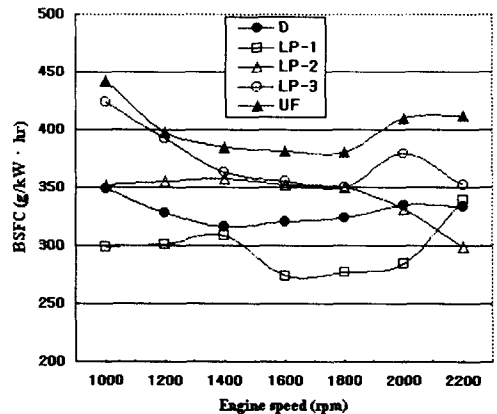


Fig. 5 Specific fuel consumption vs. engine speed for 5 fuels

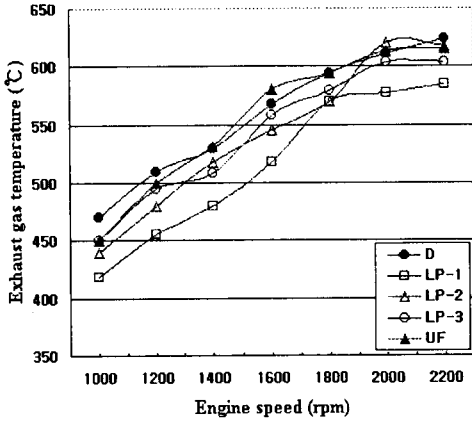


Fig. 6 Exhaust gas temperature vs. engine speed for 5 fuel.

혼합율이 증가할수록 배기가스 온도가 다소 감소하는 것으로 나타났다. 경유와 폐식용유는 거의 같은 배기가스 온도를 보였으며, 폐식용유에 LPG 첨가율을 증가시키에 따라 경유에 비해 약 3%, 4% 및 8%로 배기가스 온도가 감소하는 것으로 나타났다. 이는 폐식용유의 착화에 의하여 LPG의 예혼합 연소가 유발되어 전체 연료중 예혼합연소 부분이 많아져서 연소속도가 증가하는데 따른 연소온도의 저하로 볼 수 있다.

### 3.4 배기가스 분석

#### 3.4.1 HC 농도

Fig. 7은 기관회전수 변화에 따른 각 실험연료들의 HC 배출농도를 나타낸 것이다. 일반적으로 경유와 폐식용유의 경우에는 HC의 배출농도가 매우 낮았으며, 부하 및 회전수의 변화에 따라 거의 변화가 없으나, 폐식용유에 LPG 혼합율의 증가에 따라서 배출농도는 점차 증가하는 것으로 나타났으며, 특히 낮은 회전수와 저부하시에는 다량의 HC 배출농도를 보이고 있다. 특히, LP-1연료의 경우 경유에 비해 약 18배 이상의 HC 배출농도의 증가를 나타내었다. 하지만, 회전수의 증가에 따라서 현저히 감소하는 것을 볼 수 있다.

폐식용유에 LPG 첨가율을 증가시키에 따라 HC의 배출농도가 상승하는 현상을 보이는 것은 화염이 발달하지 못하여 연소실 벽면의 미연소된 연료의 배출량이 많아지기 때문인 것으로 생각되며, 회

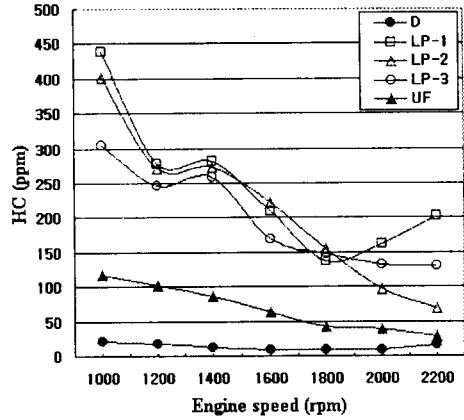


Fig. 7 Hydrocarbon(ppm) vs. engine speed for 5 fuels

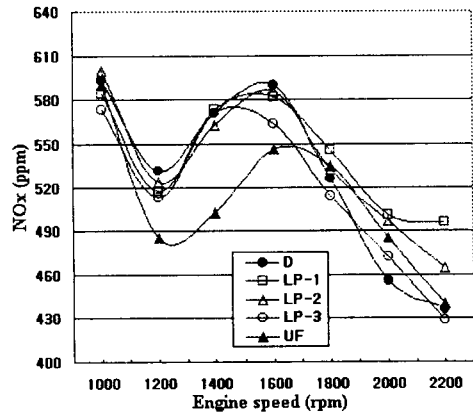


Fig. 8 NOx(ppm) vs. engine speed for 5 fuels

전수의 증가에 따라 HC의 배출농도가 급격히 감소하는 현상은 연소실내의 연소압력 및 연소온도 상승의 영향으로 미연소된 연료의 배출이 줄어들기 때문인 것으로 볼 수 있다. 위의 실험에서 볼 때 HC 배출농도의 저감을 위해서는 상용회전수 이상에서 폐식용유에 LPG 혼합을 하고 낮은 회전수에서는 LPG 혼합이 없는 폐식용유를 사용하는 것이 효과적이라고 본다.

#### 3.4.2 NOx 농도

Fig 8은 기관회전수 변화에 따른 각 실험연료들의 NOx 배출농도를 나타낸 것이다. 전체적으로 폐식용유의 경우에는 다소 낮은 NOx 배출농도를 보였으며, 폐식용유+LPG 혼합연료들에서는 큰 차

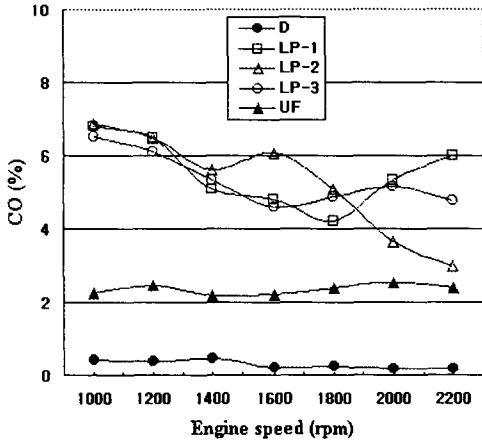


Fig. 9 Carbon monoxide (%) vs. engine speed for 5 fuels

이가 나타나지 않았다. 고속 회전시 경유에 비해 폐식용유의 연료가 높은 배출농도를 보이는 것은 폐식용유는 경유에 비해 착화지연이 길고 확산 연소가 적으므로 NOx가 비교적 증가하였으며, LPG 공급률이 증가하면 LPG로 인한 예혼합연소부분이 많아지는 한편, 착화지연이 짧아지는데 따른 폐식용유의 예혼합 연소부분의 감소가 발생하므로 이 양자의 경합이 일어나게 될 것으로 판단되며, LP-1의 경우 고속 회전시 높은 배출을 나타내었다.

3.4.3 CO 농도

Fig 9는 기관회전수 변화에 따른 각 실험연료들의 CO 배출농도를 나타낸 것이다. CO의 경우도 HC의 경우와 유사하게 경유와 폐식용유의 경우에는 낮은 CO 배출농도를 보여주고 있으나, 폐식용유+LPG 첨가연료의 경우 다소 높은 배출을 나타내고 있다. 전체적으로 LPG 첨가율의 증가에 따라 CO배출농도가 상승하는 경향을 보였다. 이와 같이 낮은 회전수에서 CO 배출농도가 증가하는 현상은 화염의 말단에서 소화하는 현상과 착화지연기간이 짧아짐에 따라 제어연소기간의 증가에 의해 농후한 혼합비가 형성되어 연소가 불완전하게 일어났기 때문인 것으로 볼 수 있다.

3.4.4 Smoke 농도

Fig 10은 기관회전수 변화에 따른 각 실험연료들의 Smoke 배출농도를 나타낸 것이다.

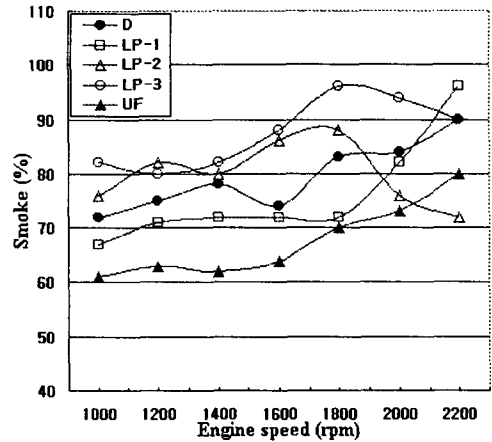


Fig. 10 Smoke(%) vs. engine speed for 5 fuels

4/4부하시 기관회전수의 증가에 따라 smoke 배출농도는 다소상승하며, 이는 회전수 증가에 따라 흡입공기량의 부족으로 인한 것으로 믿어지며, UF의 경우에는 다소 낮은 배출을 나타내고 있다. 식물유인 순수폐식용유에는 산소를 포함하고 있으므로 매연 감소현상이 나타났으며, LP-1의 경우 LPG공급에 따른 급격연소기간이 경유에 비해 빠르기 때문에 연소실내의 고온·고압에 따라 탄소상태의 미립자가 산화되는 것이 경유에 비해 크며, LPG의 공급량 만큼 폐식용유의 분사량이 감소한 때문으로 볼 수 있다.

4. 결 론

본 연구는 폐식용유를 디젤기관에 이용하여 대체에너지로서의 가능성과 폐식용유에 LPG를 혼합한 연료를 사용하여 기관의 성능 및 각 조건에 따른 배기가스의 배출 농도등을 경유와 비교 분석하였다. 실험의 결과로부터 디젤기관에 경유 대신에 폐식용유를 사용하였을 때와 폐식용유+LPG의 첨가연료를 사용하였을때의 엔진토크, 제동마력, 배기가스 온도, 제동연료소비율, 배기가스농도등을 경유를 사용하였을 때와 비교 분석한 결과는 다음과 같다.

1. 엔진의 토크 및 제동마력은 순수폐식용유, 폐식용유+LPG 첨가연료 사용한 경우 경유를 사용한 경우의 출력에 비해 큰 차이가 없었다.

2. 제동연료소비율은 LP-1 혼합연료의 경우 가장 낮은 연료소비율을 나타내었으며, 낮은 회전수영역에서는 폐식용유와 폐식용유+LPG 첨가연료의 연료소비율이 경유에 비해 다소 높으나 상용회전수인 2000~2200rpm의 영역에서는 경유연료와 비슷한 연료소비율을 보여주었다. 이는 폐식용유의 발열량이 경유의 발열량에 비해 낮기 때문인 것으로 볼 수 있다.
3. HC의 배출농도는 경유와 순수폐식용유의 경우 HC 배출농도가 거의 없는 반면에 폐식용유+LPG 혼합연료에서 LPG 혼합을 증가에 따라 HC 배출농도가 증가하는 것으로 나타났다. 낮은 회전수 및 저부하시에 다량의 HC가 배출되고 회전수의증가 및 고부하시에 현저히 감소되는 것으로 보아, 저부하 및 낮은 회전수에서는 폐식용유만으로 운전하고, 고부하 및 높은 회전수에서 LPG를 공급하여 운전하는 것이 효과적이다.
4. NOx의 배출농도는 회전수의 증가에 따라 폐식용유+LPG혼합연료의 경우 경유에 비해 조금 높은 배출농도를 보이며, LPG혼합을 증가에 따른 감소경향은 크게 나타나지 않는다.
5. CO의 배출농도는 전체적으로 LPG혼합을의 증가에 따라 CO배출농도가 증가하고, 고부하시에는 폐식용유+LPG 혼합연료가 경유에 비해 CO배출농도가 낮은 것으로 나타났다.
6. Smoke의 배출농도는 엔진부하의 증가에 따라서 증가하는 것으로 나타났으며, 폐식용유+LPG혼합연료의 경우 경유에 비해 낮은 배출농도를 나타내고 있다.

### 참고문헌

1. T. Murayama, Y.T OH, A.Kido, T.Chikahisa, N. Miyamoto and K. Itow, "Effect of super heating of heavy fuels on combustion and performance in DI diesel engine", SAE Trans

- 860306, 1986.
2. 나우정의, "바이오 디젤유 제조 기술 개발 및 엔진 적합성 평가(I)", 통상산업부. 1995.
3. 주은선의, "바이오 디젤유 제조 기술 개발 및 엔진 적합성 평가(II)", 통상산업부. 1996.
4. 조기현, "농용석유기관의 LPG이용에 관한 연구", 한국 농업기계학회지 22(2), pp189-198. 1997.
5. Fleming, R. D., et al., "Natural gas, synthetic natural gas and liquefied petroleum gases as fuels for transportation", SAE paper No. 820959, 1982.
6. 이일환, "디젤기관의 흡기관내 LPG공급에 의한 성능향상에 관한 연구", 금오공과대학교 산업 대학원 석사논문. 1998.
7. Hawkins, C. B., et al., "Sunflower oil esters: An alternate fuel for direct injection diesel engine", SAE paper No. 831356, 1983.
8. Lois E. "Substitution of Diesel Fuel by Gaseous Fuel", TNO Research Institute of Road Vehicles, pp39~50. 1984.
9. La, Woo-Jung et al, "Performance and Emissions Characteristics of a Diesel Engine with Some Bio-oil Fuels", ICAME '96, 1996.
10. 윤재건, "LPG 자동차의 안전성에 대한 고찰", 한국 자동차공학회지, pp 10~16. 1997.
11. 김성태의, "농용기관 대체연료 연구에 관한 문헌분석(2)-기관성능 분석-", 경상대학교 부설 농업자원 이용연구소보 제 32호, pp91~100. 1998.
12. Pryor, R. W., Hanna, M. A., Schinstock, J. L., and Bashford. L. L., "Soybean Oil Fuel in a Small Diesel Engine," Transactions of the ASAE, pp.333~337, 1983.
13. Akasaka, Y., Suzuki, T., and Sakurai, Y., "Exhaust Emissions of a Diesel Engine Fueled with Blends of Biodiesel and Low Sulfur Diesel Fuel," SAE 972998, pp.1~7, 1997.
14. Choi, C. Y., Bower, G. R., and Reitz, R. D., "Effects of Biodiesel Blended Fuels and Multiple Injections on D. I. Diesel Engines," SAE 970218, pp.1~20, 1997.



## 저 자 소 개



### 백태실(白泰實)

1960년 10월생. 1983년 한국해양대학교 기관공학과 졸업. 1989년 2월 동대학원 졸업(공학석사). 1999년 한국해양대학교 기계공학과 박사과정 수료. 현~포항1대학 자동차과 전임강사.



### 조기현(趙基顯)

1969년 1월생. 1991년 대동공업(주) 기술연구소. 1994년 경상대학교 졸업(석사). 2000년 경상대학교 공학박사. 현~경북도립 경도대학 차량기계학과. 조교수. (학과장)



### 황의현(黃義玄)

1958. 7월생. 1995년 2월 한양대학교 환경대학원(공학석사). 2000년 2월 서울시립대학교 대학원 환경공학과(박사과정 수료). 1998년 3월~현재 경북도립 경도대학 토목환경학과 조교수.



### 정형길(鄭炯植)

1970년 11월생. 2000년 경상대학교 졸업(공학석사). 현~경상대학교 대학원 박사과정.