

WOT조건에서 23cc 가솔린 엔진과 LPG 엔진의 성능 및 배기특성 비교

김병국* · 최영하* · 오진우* · 이동근* · 김동선** · 윤석주†

Comparison of Performance and Emissions Characteristics on 23cc Gasoline engine and LPG engine at WOT Condition

B. G. Kim, Y. H. Choi, J. W. Oh, D. G. Lee, D. S. Kim and S. J. Yoon

Key Words: 2-stroke engine(2행정 엔진), WOT(완전개방), mixer(믹서), carburetor(기화기), dynamometer(동력계)

Abstract

This paper presents the performance and emissions characteristics of a small spark-ignited 2-stroke gasoline and LPG engine. The engine used in this paper is a single cylinder, two-stroke, air-cooled SI engine for brush cutter. We measured the rpm, torque, fuel consumption and HC, CO, NO_x emissions in associated with the dynamometer load at WOT. The results showed that as engine revolution speed decreased, the excess air ratio of gasoline engine kept going about 0.9 and that of LPG engine increased 0.83 to 1.05. Torque and power of gasoline engine was higher than LPG engine. In exhaust emissions, HC emissions of gasoline engine was lower than LPG engine. In low speed area, CO emissions of LPG engine was lower than gasoline engine. Both gasoline engine and LPG engine emitted little NO_x emissions.

1. 서 론

예취기, 체인톱, 양수기, 살포기, 무선 모형자동차, 모형 항공기, 수상 모터보트, 미니스쿠터 등 전 세계적으로 소형 엔진을 장착한 제품군들의 시장이 날로 증가하고 있다. 소형 엔진은 정격출력 19 kW 이하의 엔진으로 분류되며 4행정 및 2행정으로 작동하는 엔진을 모두 포함한다. 그 중에서도 2행정 엔진은 단순한 구조를 지니고 있고, 저렴하여 소형 원동기용 엔진으로 주로 이용되고 있다.

2행정 엔진은 4행정 엔진에 비하여 출력이 크고, 회전력 변동이 적으며 회전이 원활한 특징을 가지고 있다. 또

한 밸브장치가 간단하여 소음이 적으며 중량이 가볍다.

Class IV급 소형엔진은 Class III급 모형용 엔진(20cc 이하)과 Class V급 모페드 및 산업용(50cc 이상) 엔진의 전형적인 틈새시장으로 그 활용 분야 및 수요시장이 광범위하게 확대되어 가는 반면 기술수준은 기존 농업/원예용 제품의 기술수준에 머물러 있다. 최근에 선진국 시장수요의 증대에 힘입어 배기규제 및 첨단 기술이 적용된 제품이 출시되고 있는 실정이다⁽¹⁾.

그러나 국내에서 2행정 엔진에 대한 연구는 주로 선박이나 산업용의 디젤 엔진, 모터사이클에만 집중되어 왔다. 국내에서는 2행정 엔진에 대한 연구가 거의 전무한 실정이며 특히 Class IV(20~50cc)급 소형엔진에 대한 연구는 아주 부족한 실정이다⁽²⁻³⁾.

최근 세계적으로 유해 물질 배출량 규제의 법제화가 가속화되고 있다. 따라서 자동차 업체는 디젤 직접분사(DDI; diesel direct injection), 가솔린 직접분사(GDI; gasoline direct injection), 대체연료 개발, 하이브리드 자동

(2008년 3월 12일 접수 ~ 2009년 3월 18일 심사완료)

*전북대학교 기계공학과 대학원

**한성공업주식회사

†책임저자, 회원, 전북대학교 기계공학과

E-mail : mecsj@chonbuk.ac.kr

TEL : (063)270-2324 FAX : (063)270-2315

차(hybrid car) 개발 등 규제에 대응할 수 있는 방안을 모색하고 있다. 이러한 자동차 대한 배기가스 배출물을 제한하려는 관심의 증가로 인하여, 그 동안 배기가스 규제의 사각지대에 있었던 비도로(non-road) 부분의 배기가스 규제에 대한 관심이 날로 증가하고 있다⁽⁴⁻⁶⁾.

기존의 자동차에 국한되지 않고 비도로 부분에 대한 배기규제가 전 세계적으로 강화되는 시점에서 우리의 실생활에서 자주 사용하는 소형 2행정 엔진에 대한 기술 개발 노력이 갈수록 필요해지고 있다.

본 연구는 LPG/가솔린 겸용 엔진의 연료 및 윤활유 공급시스템 개발을 위한 사전 연구로써, 상용 23cc 예취기용 2행정 엔진을 사용하여 가솔린과 LPG 사용 시 엔진 성능 및 배기특성을 비교, 분석하여 기술 개발에 필요한 정보를 얻고자 하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

상용 23cc 가솔린 엔진과 LPG 엔진의 성능과 배기특성을 비교하기 위하여 LPG 예취기용 엔진을 구입하여 LPG 연료 공급 시 성능 및 배기특성 데이터를 획득하였고, 동일 배기량 하에서 가솔린 연료 공급 시 특성을 파악하기 위하여 LPG 엔진의 연료공급계통을 기화기로 변경하였다.

가솔린 엔진 전환 시 배기량 20~50cc에 해당하는 예취기용 2행정 엔진에 장착 가능한 출력직경 12.2 mm의 Walbro사의 WYJ 모델의 다이어프램(diaphragm) 방식의 기화기를 기존 LPG 믹서(mixer)를 제거한 후 부착하였다. LPG 엔진 실험은 장착되어 있는 믹서를 그대로 사용했으며, LPG 연료는 봄베(bombe) 내에 가압되어 있는 연료를 레귤레이터(regulator)를 통해 대기압 수준까지 감압한 후 기상으로 공급한다. 상용 LPG 엔진에 장

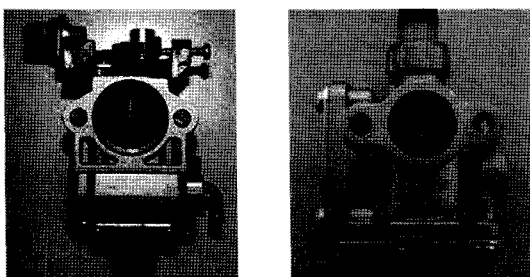


Fig. 1 Gasoline carburetor and LPG mixer

Table 1. Test engine specifications

	Diameter (mm)	Throttle valve type
Carburetor	12.2	barrel
Mixer	9	piston

착된 믹서는 이러한 레귤레이터 기능까지 통합적으로 장착이 된 제품이다. Fig. 1은 본 실험에 사용된 기화기와 믹서를 보여주고 있으며 그 제원을 Table 1에 나타내었다.

성능시험을 위하여 Rotronics사의 소형엔진용 FA3/30 SLV 와전류 동력계를 이용하였다. 엔진에 부과하는 동력계 컨트롤러(controller)를 통해 동력계가 가할 수 있는 최대 부하의 % 단위로 제어가 이루어진다. 실험장치의 개략도를 Fig. 2에 나타내었고, Table 2는 실험에 사용된 엔진의 제원을 나타내고 있다.

소형 2행정 엔진의 배기특성을 분석하기 위하여 HC, CO, NO_x등 배기 배출물 농도를 측정하였고, 또한 흡입

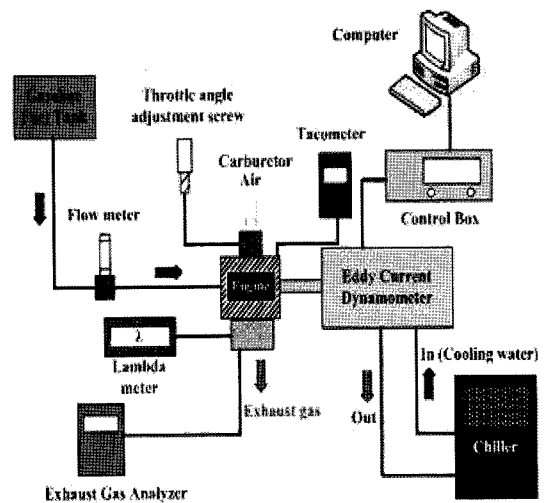


Fig. 2 Schematic diagram of gasoline experimental apparatus

Table 2. Test engine specifications

Item	Specifications
Engine type	Air cooled, 2-stroke
Number of cylinder	1
Displacement (cc)	22.5
Max. Power (kW)	0.8

되는 혼합기의 공기과잉율은 공기과잉을 측정센서를 부착하여 측정하였다. 배기가스 측정 장치로 Testo사의 Testo350을 이용하였으며, 공기과잉을 측정은 ETAS사의 LA4 Lambda 센서를 사용하였다.

본 엔진은 자동 원심형 클러치로 동력을 전달할 수 있는 형태로 엔진 운전 시 클러치가 원심력에 의해서 확장되면서 하우징(housing)을 돌리게 되고, 하우징과 동력계는 여러 개의 강선으로 이루어진 와이어(wires)로 연결하여, 엔진회전속도와 축 토크를 측정하였다. 또한, 자체 제작한 유량계를 이용하여 연료소비시간을 측정하여 정미열효율을 계산하였다.

LPG 엔진에 사용된 연료는 시중에서 판매되는 캔으로 저장된 휴대용 부탄가스이다. 성분은 이소부탄(isobutane; C₄H₁₀) 100%로 구성되어 있다.

2.2 실험방법

본 실험에서는 엔진이 최대 회전속도로 운전할 수 있도록 스로틀을 완전히 연 후, 크랭크축의 회전을 방해하는 부하를 동력계가 발생시킬 수 있는 최대 부하의 1~2% 단위로 조절하였으며, 그래프로 표현 시 엔진 회전속도를 인자로 하여 나타내었다.

엔진의 워밍업을 위하여 엔진 시동 후 동력계를 통해 부하를 걸어주지 않은 조건에서 30분 구동한 후 실험을 시작하였으며 부하 변동 시 5분간의 엔진 안정화 시간을 두어 실험데이터의 재현성을 높였다.

동력계를 통해 엔진회전속도와 축 토크를 측정하였으며 출력은 측정된 엔진 회전수와 토크 값으로부터 계산하였고, 정미열효율은 출력과 연료소비량 그리고 연료의 고유 저위발열량을 가지고 도출하였다.

$$Power = \frac{2\pi NT}{60} (W) \quad (1)$$

$$\eta_e = \frac{N_c}{m_f \times h_u} (kJ/kW \cdot h) \quad (2)$$

동력계 부하 증가에 따른 공기과잉율을 측정하였으며 배기가스는 HC, CO, NO_x, O₂ 농도를 측정하여 HC, CO, NO_x 농도를 배기가스 중의 산소함유농도 0% 기준으로 환산하여 나타냈다.

실험은 시중에 판매되고 있는 엔진의 특성을 파악하고자 엔진성능에 중요한 영향을 미치는 기화기와 믹서의 공연비 조정나사를 구매했을 때의 위치로 유지하고 완전개방 조건에서 동력계 부하 변화에 따른 엔진 성능과 배기특성을 파악하였다.

실험결과는 부하 변동시마다 3회씩 데이터를 취득하

여 평균하였으며, 부하 증가에 대해 클러치의 미끄럼(slip) 영향을 배제하기 위하여 엔진회전수와 동력계 회전수를 각각 측정, 비교하여 미끄럼이 발생하지 않은 조건에서 실험을 수행하였다.

3. 실험결과

3.1 성능특성

Figure 3은 엔진 회전속도 변화에 따른 출력 변화를 도시한 것이다. 가솔린 엔진은 8,900 rpm 근방에서 최대 826W의 출력을 발생했고, LPG 엔진은 7,000 rpm 근처에서 최대 597W의 출력이 발생하였다.

LPG 엔진에 비해 가솔린 엔진이 최대 출력이 발생하는 엔진 회전수 영역이 높았으며, 230W 정도 출력이 높게 나타나는 것을 확인할 수 있었다. LPG 엔진에서는 5,300 rpm 이하에서 슬립이 발생하였으며, 가솔린 엔진에서는 6,500 rpm영역까지 슬립이 발생하지 않았다. 최대 출력과 슬립 발생 영역의 차이는 스로틀 밸브 직경의 차이로 인한 개구면적이 상이하기 때문에 개구면적이 큰 가솔린 엔진에서 출력이 높고 슬립 발생 영역이 고속 영역이었다.

Figure 4는 엔진 회전속도 변화에 따른 축 토크 변화를 도시한 그래프이다. 두 엔진에서 모두 엔진 회전수 감소에 따라서 축 토크가 지속적으로 증가하지만, 가솔린 엔진은 8900 rpm 이후부터 증가폭이 조금 둔화되는 것을 확인할 수 있었으며, LPG 엔진 또한 7600 rpm 이후부터 증가폭이 감소하는 것을 확인할 수 있었다.

즉, 두 엔진에서 모두 최대출력이 발생하는 지점 이후

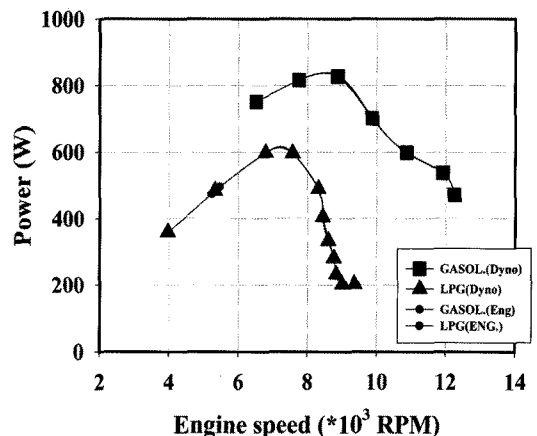


Fig. 3 Variation of power associated with engine speed

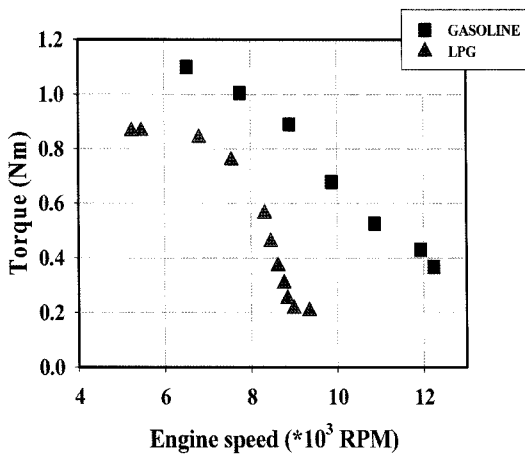


Fig. 4 Variation of torque associated with engine speed

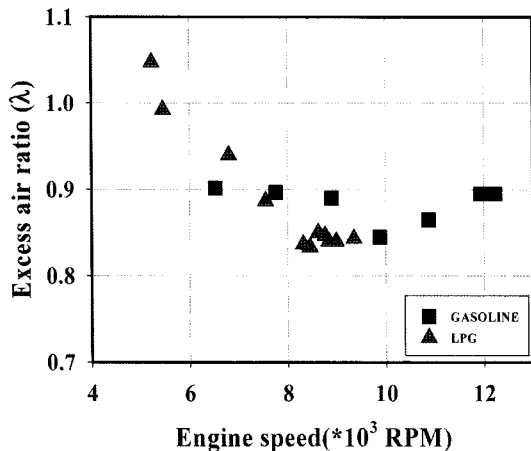


Fig. 5 Variation of excess air ratio associated with engine speed

부터는 토크 증가가 둔화되는 것을 알 수 있었다. 최대 축 토크는 가솔린 엔진이 1.1 N·m, LPG 엔진은 0.87 N·m로서 가솔린 엔진의 최대 축 토크가 0.23 N·m 높은 것을 알 수 있었다.

Figure 5는 엔진 회전속도 변화에 따른 공기과잉을 변화를 도시한 것이다. 공기과잉율은 공기비라고도 부르며, 실제 혼합된 공기량 대 완전연소에 필요한 공기량의 비로 정의된다.

공기과잉율은 엔진의 출력과 연소특성에 영향을 주는 중요한 인자이다. 엔진 운전 시 실린더내로 공급되는 혼합기의 공기과잉율은 사용하는 기화기와 믹서에 영향을 받으며 상용 2행정 예취기용 가솔린과 LPG 엔진의 운전특성도 판매되는 기화기와 믹서가 공급하는 혼합기의 공기과잉율에 큰 영향을 받는다. 연소 후 발생하는 탄소

와 수소 그리고 산소 성분으로 측정하는 공기과잉율을 통해서 상용 예취기용 엔진의 특성을 파악할 수 있으며, 엔진에 맞게 조정되어진 기화기와 믹서의 특성도 동시에 분석할 수 있다.

LPG 엔진은 엔진 회전속도 8,300 rpm 이상에서 공기과잉율이 0.83~0.85 정도로 농후하였으며, 8,300 rpm 이하의 회전속도 영역에서 공기과잉율이 0.89에서 1.05까지 변하면서 흡입되는 혼합기가 희박해지는 현상이 발생함을 확인할 수 있었다. 그러나 가솔린 엔진은 10,000 rpm 전후에서 0.84~0.86으로 과농하게 나타났으며 그 외의 회전수 영역에서는 0.90 정도를 유지하는 것으로 확인되었다.

이러한 변화 특성은 2행정 엔진의 소기과정 동안 발생하는 소기손실을 고려하여 최대 출력을 얻기 위해 공연비를 가장 희박한 쪽으로 맞추지는 않는 것과 관련이 있다. 농후한 쪽으로 설정을 해야 소기손실이 보상되기 때문이다. 일반적으로 설정하는 혼합비는 대략 λ=0.82 또는 0.88 인데, 그런 경향은 WOT 조건에 적합하다⁽⁷⁻⁸⁾.

기화기와 믹서에서 농후한 혼합기를 공급하는 또 한 가지 이유는, 엔진이 최대 출력을 얻기 위해서는 연소 시 공기가 많이 공급되어서 공기의 밀도가 높아지는 것이 좋지만 다소 희박한 혼합기는 엔진을 과열시키고, 불균일 연소와 폭발을 일으켜서 실린더 구성품의 고장을 일으키며, 이론혼합비에서 최대 출력이 발생하지만 이 경우에도 엔진의 과열을 촉진시켜서 지속적인 운전이 불가능하다. 엔진에 약간 더 많은 과잉 연료를 공급하면, 연소에 참여하지 않는 여분의 연료는 엔진이 운전할 때 실린더 부품들을 냉각시키기 위해 사용된다⁽⁹⁾.

공기과잉율 측정 결과 가솔린 엔진은 0.84~0.90으로 나타났으며, LPG 엔진은 7,500 rpm 이상에서 0.83~0.90으로 유지되는 것으로 확인되었으며, 이러한 특성을 통해 일반적인 조건과 대략적으로 일치하는 것을 확인할 수 있었다.

Figure 6은 엔진 회전속도 변화에 따른 정미열효율 변화를 도시한 것이다. 8,000 rpm이상의 영역에서 LPG 엔진의 정미 열효율이 가솔린 엔진에 비하여 높게 나타났고, 8,000 rpm 이하에서 LPG 엔진과 가솔린 엔진의 정미 열효율이 비슷하게 나타나는 것을 알 수 있다. 정미 열효율은 작을수록 효율이 좋은 기관이라 할 수 있다. 정미열효율이 높으면 단위 출력을 발생하기 위하여 더 많은 에너지를 소모하는 것을 의미한다. 즉, 8000 rpm 이상의 영역에서 가솔린 엔진이 LPG 엔진에 비하여 효율이 좋으며 그 이하의 영역에서 두 엔진의 효율이 비

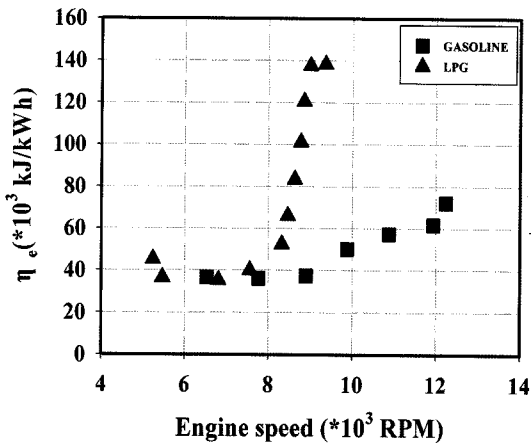


Fig. 6 Variation of heat efficiency in associated with engine speed

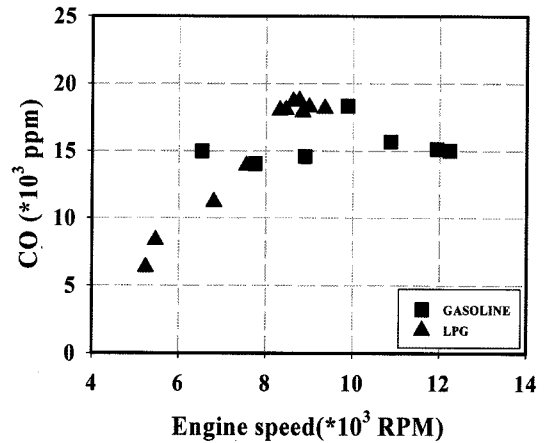


Fig. 8 Variation of CO emissions associated with engine speed

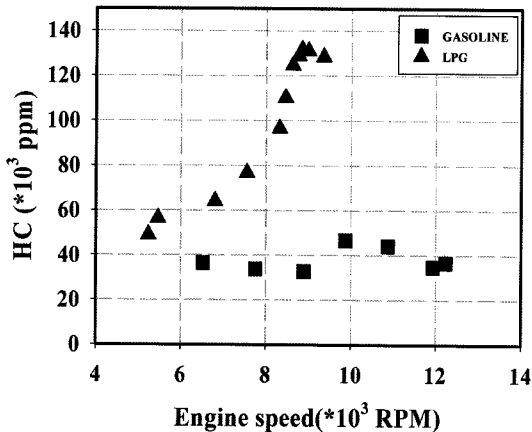


Fig. 7 Variation of HC emissions associated with engine speed

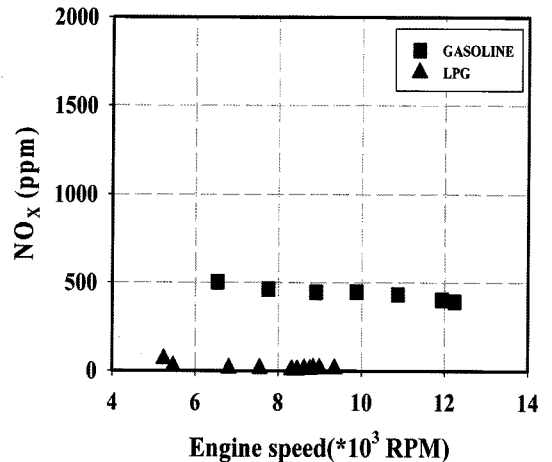


Fig. 9 Variation of NOx emissions associated with engine speed

스해지는 것을 알 수 있다. 두 연료의 저위발열량이 비슷하기 때문에 흡입되는 혼합기의 공기과잉율의 영향이 지배적이었던 것으로 사료된다.

3.2 배기특성

Figure 7은 엔진 회전속도 변화에 따른 HC 배출 농도 변화를 도시한 것이다. LPG 엔진에서 엔진 회전수 증가에 따라 HC 배출 농도가 증가하고 있으며, 가솔린 엔진은 비슷한 배출 수준을 유지하는 것으로 나타났다. HC 농도는 전 회전속도 영역에서 LPG 엔진이 가솔린 엔진에 비하여 높게 나타났다. 상용 예취기용 엔진에서 가솔린 엔진이 LPG 엔진에 비해서 HC 배출 특성에서 유리하다고 판단되고, LPG 적용 기술 개발에 의해 개선될 것으로 사료된다.

Figure 8은 엔진 회전속도 변화에 따른 CO 배출 농도를 도시한 그래프이다. 8,000~10,000 rpm 영역에서는 가솔린 엔진이 LPG 엔진에 비하여 배출 농도가 작지만 8,000 rpm 이하의 영역에서는 LPG 엔진의 CO 배출 농도가 작게 나타났다. CO 배출특성은 Fig. 5의 결과인 공기과잉률의 영향이 다소 지배적인 것으로 생각된다.

Figure 9는 엔진 회전속도 변화에 따른 NOx 배출 농도를 도시한 것이다. 가솔린 엔진의 NOx 배출농도는 400~500 ppm 정도로 HC와 CO에 비해 매우 적은 양이 배출되고 있으며, LPG 엔진은 Fig. 6과 Fig. 7에서 나타난 바와 같이 연소성능 저하에 의한 영향으로 가솔린 엔진에 비해 매우 적은 NOx 배출을 보이는 것으로 판단된다.

4. 결 론

참고문헌

1. 최대 출력은 가솔린 엔진이 826W, LPG 엔진은 597W의 결과를 보였으며 최대 토크는 가솔린 엔진이 1.1 N·m, LPG 엔진은 0.87 N·m의 결과를 보였다.

2. LPG 엔진은 엔진 회전수 7,500 rpm 이상에서 공기 과잉율이 0.83~0.90으로 확인되었으며, 가솔린 엔진은 모든 회전수 영역에서 0.84~0.90 정도의 결과를 보였다. 정미열효율은 8,00 rpm 이상의 영역에서 가솔린 엔진이 LPG 엔진에 비하여 낮게 나타났으며, 그 이하의 영역에서 큰 차이가 없었다.

3. HC 배출 농도는 전 회전속도 영역에서 LPG 엔진이 가솔린 엔진에 비하여 높으며 상용 예취기용 엔진에서 가솔린 엔진이 LPG 엔진에 비해 HC 배출수준에서 유리함을 알 수 있었다.

4. CO 배출특성은 회전속도에 의한 영향보다 공기과잉율에 의해 지배되는 것으로 확인되었으며, NO_x 배출 농도는 LPG 엔진에서 연소성능 저하로 가솔린 엔진보다 낮은 결과를 보였다.

후 기

본 연구는 산업기술재단의 지원으로 시행되는 “지역 혁신인력양성사업”의 수행 연구결과의 일부이며, 산업기술재단의 지원에 감사드립니다.

- (1) 나병철, 서준호, 김진용, “소형 2 스트로크 엔진 배기 규제 대응 및 설계기술”, 한국자동차공학회 추계학술대회논문집, 2004, pp.128~133.
- (2) 정용일, 윤재진, “자동차와 환경”, 한성대학교 출판부, 2000.
- (3) K. Morikawa and H. Takimoto, “A Study of direct fuel injection two-stroke engine for high specific power output and high engine speed”, SAE 1999-01-3288, 1999.
- (4) A. Graham bell, “Two-stroke performance tuning”, Haynes Publishing, second edition, 1999, p.120
- (5) T. Tokui and J. Shirahata, “Small engine catalyst for US emission regulations”, SAE 2002-32-1837, 2002.
- (6) H. Akiyama, K. Suzuki, K. Araki and Y. Nakano, “Development of carburetors and elements parts of fuel injection system for motorcycles”, SAE 2005-32-0068, 2005.
- (7) M. Yoshida, T. Suzuki and Y. Oguri, “Study on electronic control of air fuel ratio and ignition timing for small gasoline engine”, SAE 2001-01-1861, 2001.
- (8) Trimmer and blower carburetors Service Manual, <http://69.16.165.8/brochures.aspx>.
- (9) J. Bin, L. Manqun, Y. Xicheng and J. Yabing, “An experimental survey on the emissions characteristics of non-road small S.I. engines in China”, SAE 2003-32-0036, 2003.