

메탄올 개질연료를 사용한 가솔린 기관 실험 연구

이석영[†] · 전충환*

인하공업전문대학 기계과, *부산대학교 기계공학부
(2010년 1월 14일 접수, 2010년 3월 20일 수정, 2010년 3월 23일 채택)

A Study on Characteristics of the SI Engine Using Methanol Reformulated Fuels

Suk Young Lee[†] and Chung Hwan Jeon*

Department of Mechanical Engineering, Inha Technical College,

*Department of Mechanical Engineering, Pusan University

(Received 14 January 2010, Revised 20 March 2010, Accepted 23 March 2009)

요 약

본 연구는 엔진을 개조하지 않고 메탄올 개질연료를 사용하여 엔진의 성능과 배출가스 측면에서 가솔린 연료 사용시의 특성과 비교하였다. RM50(메탄올 개질연료)은 메탄올 연료의 특성중 하나인 넓은 가연한계범위를 가지고 있기 때문에 불안정한 운전조건에서도 가솔린 연료에 비해 상대적으로 안정된 운전상태를 유지하고 엔진의 안정적 운전상태를 결정하는데 사용되는 사이클 변동계수에 있어서도 10%이내의 안정된 수치를 보여주었다. 또한, 모든 운전조건에서도 RM50은 가솔린 연료를 사용하였을 때 보다 CO, HC, NOx의 배출물이 감소되었다. 그러나 소음특성의 경우 연소속도가 빠르기 때문에 가솔린 연료에 비해 상대적으로 약간 높은 값을 나타내었고 고무침지의 실험결과는 가솔린 연료 사용시의 실험결과와 유사하게 나타내며 사용 가능한 것으로 나타났다.

주요어 : 메탄올 개질연료, 연소안정성, 제동연료소비율, 배출가스, 소음과 진동

Abstract— In this experimental research, it was studied to compare with pure gasoline and the fuels of RM50 (reformulated methanol fuel) for performance and exhaust emissions without reconstruction of engine systems. RM50 has a wider range of combustion limitation, which is one of the methanol's characteristics. This causes a stable driving state of RM50 in the experimental condition of unstable state and a low cycle by cycle variation which is used to determine the driving state. It is determined that fuel stability is better because cycle by cycle variation varies within 10%, therefore, driving characteristics is relatively good. In all conditions, RM50 has lower exhaust emissions of CO, HC, NOx than gasoline fuel, however, RM50's noise characteristics are 0.5~2dB higher at all condition, and in the result of the experiments of rubber fusion, it increases the utility possibility of RM50.

Key words : Methanol reformulated fuel, Cycle by cycle variation, Break specific fuel consumption, Exhaust emissions, Noise and vibration.

1. 서 론

[†]To whom corresponding should be addressed.
253 YongHyun Nam Incheon 402-752 Korea
Tel : 032-870-2131
E-mail : sylee@inhac.ac.kr

지구 환경보존을 위해 날로 강화되고 있는 자동차
배기관련 법규는 자동차 업계에 저공해 자동차 개발

을 요구하고 있다. 이에 자동차 업계들은 메탄올, 천연가스, 전기, 수소 등을 사용하는 대체연료 자동차의 개발에 박차를 가하여 왔다. 그러나 천연가스, 전기, 수소 등을 이용하는 자동차의 보급이 일반화되어 가솔린 자동차를 전면적으로 대체하기에는 아직 어려운 실정이며, 가솔린 연료를 사용하는 자동차가 무공해 자동차로 대체되는 데는 많은 기간이 소요된다. 따라서 일정기간 동안은 스파크 점화기관에서 기관의 변경 없이 가솔린 연료를 대체할 수 있는 연료의 개발이 필요한 실정이다. 대체 연료 중 메탄올은 가솔린과 비슷한 연료 특성으로 인해 기존엔진의 과도한 개조를 요구하지 않고, 기술적으로도 오랜 기간 연구되어 온 대체 연료의 선두주자라 할 수 있다. 현재까지의 연구결과를 살펴보면 Battista 등 [1]은 스파크 점화기관에서 순수 메탄올과 M85(메탄올 85% 혼합연료) 사용시 냉시동성을 향상시키기 위해 점화 시스템과 연료공급 시스템을 변경하여 메탄올 혼합량의 증가에 따른 냉시동성 불량을 해결하기 위한 방안을 제시하였으며, Justin 등 [2]은 메탄올(M85) 차량에서 냉시동성을 향상시키고, 시동시 발생하는 배기배출물을 저감시키기 위해 수소 공급장치를 별도로 설치하여 시동시에만 수소연료를 사용하고 엔진이 시동된 후 일정 온도에 도달하면 메탄올 연료를 분사하는 방식과 촉매기 표면에 수소를 분사하여 촉매기 표면에서 직접 연소시킴으로써 시동시 촉매기를 예열하여 배기 배출물을 저감하고자 하였다. Houliang 등 [3]은 단기통 엔진에서 메탄올과 에탄올 혼합연료를 각각 이용하여 혼합되는 공기를 가열하여 연소실에서 발생하는 CO와 CO₂ 등의 발생농도를 크랭크 각도별로 검출함으로써 혼합연료와 가열된 혼합공기와 화학 반응 메커니즘에 대해 연구하였으며, Alasfour [4]는 단기통 엔진에 메탄올 30%, 부탄올 30%, 가솔린 연료를 적용하여 공연비와 점화시기에 따른 출력특성과 연료 소비율 및 열효율에 관해 연구하였고, 이 등 [5]은 가솔린 기관의 구조를 변경하지 않은 상태로 메탄올을 체적단위 10%와 20%로 가솔린에 혼합하여 적용하고, 연소성능개선을 위하여 연료온도와 사이클 인자 등을 변화시켜 엔진의 성능, 연소특성, 배출물 중 HC 및 CO의 배출특성에 대해 연구하였다. 따라서 본 연구에서는 기존엔진의 하드웨어적인 구조와 전자제어 장치의 변경없이 가솔린 연료를 대체할 수 있는 청정 연료인 메탄올 개질연료를 사용함으로써 공해를 최소화시키는 것을 목표로 한다. 이에 따라 메탄올 개질

연료와 기존에 사용하는 연료인 가솔린을 비교하여 대체연료로써 사용여부를 엔진성능, 배기배출물 특성, 소음과 진동 등의 실험을 통해 타당성 여부를 파악해 보고자 한다.

2. 실험장치

2-1. 연료

Fig. 1에서 보는 바와 같이, 메탄올 개질연료란 가솔린과 메탄올의 혼합연료와 구별된 것으로, 원유의 정제과정에서 나오는 수많은 성분들 중의 몇몇 성분을 취하여 메탄올 연료와 함께 제조하여, 엔진의 하드웨어적인 구조와 전자제어장치의 변경 없이 기존의 가솔린 기관에 사용할 수 있는 연료를 말한다 [6]. Fig. 2는 개발을 위한 메탄올 개질연료의 증류곡선 특성을 나타낸 것이다. 증류곡선 결과로부터 메탄올 함유량이 증가할수록 가솔린곡선과의 차이가 증가하는데 이중에서 RM30과 RM50의 경우는 가솔린의 증류곡선 특성을 가장 잘 추종하고 있음을 관찰할 수 있고 RM30이 가장 좋은 결과를 나타내고 있다. 그러나 RM30의 경우는 연료가 아닌 첨가제로 사용될 가능성이 많기 때문에 첨가제가 아닌 연료로서의 사용 가능성을 위해 가솔린의 증류곡선을 유사하게 추종하는 메탄올 함유량 50%에 대한 RM50 역시 연료로서의 가능성을 내포하고 있는 것으로 판단되어, 본 연구에서는 RM50을 샘플연료로 선정하였다. 본 실험에 사용한 연료는 메탄올과 가솔린 연료중의 각종 성분은

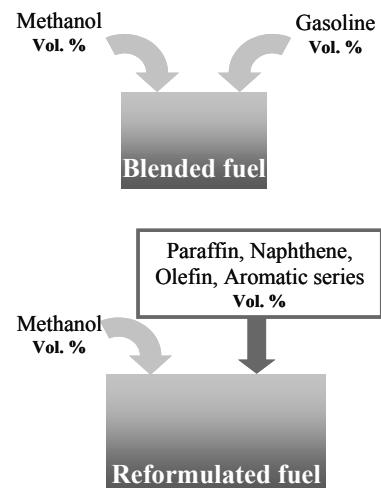


Fig. 1. Concept diagram of blended fuel and reformulated fuel.

이용한 새로운 개질 연료로서 각각의 체적비율과 연료성상은 Table 1에 나타난 것과 같으며, 편의상 가솔린, RM50으로 명명한다.

2-2. 실험장치 및 방법

실험장치도는 Fig. 3과 같으며 엔진의 제원은 Table 2와 같다. 연소압력 계측을 위해 스파크 플러그형 압력센서를 사용하였으며, 엔진 각부의 센서로부터 데이터를 취득할 수 있는 15개 채널의 데이터 취득 시스템이 연결되어 압력, 점화시기 그리고 산소센서 신호, 냉각수온도, 흡기온도, 스로틀 밸브의 개도량과 엔진 회전수 등 엔진 각부의 상황을 취득 및 모니터링

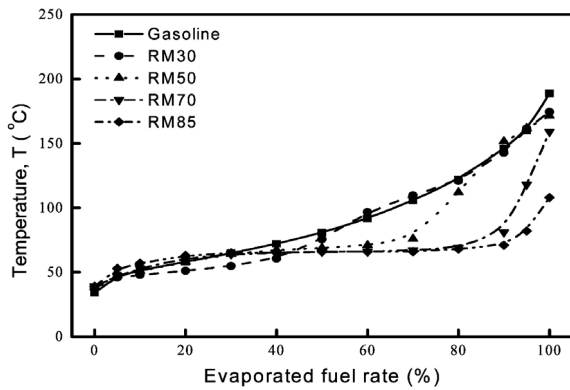


Fig. 2. Distillation curve of methanol.

Table 1. Comparison of experimental fuel properties.

	Gasoline	RM 50
Fuel composition Vol. (%)	Gasoline 100%	Methanol 54% Aromatic 23% Non-aromatic 23%
Benzene content Vol. (%)	0.86	0.04
Olefin content Vol. (%)	17.5	0.30
Carbon fraction Wt. (%)	84.46	62.89
Hydrogen fraction Wt. (%)	13.89	12.59
Oxygen fraction Wt. (%)	1.65	24.53
Vapor pressure(kPa)	68.65	71.59
Specific gravity (15/4)	0.7228	0.7797
Octane number (RON)	92.2	121.0
LHV(kJ/kg)	41993	31024

을 할 수 있도록 하였다. 연료에 따른 특성을 알아보기 위해, 기존의 ECU를 사용하여 엔진을 구동하였으며, 엔진회전수, 연료분사량, 공연비, 산소센서의 기전력 및 배출가스를 검출하였다. 또한 엔진의 운전조건은 정속운전을 기준으로 하였으며, 서로 다른 연료에 대한 연소특성, 배출가스, 소음 및 진동 등을 같은 조건에서 비교하기 위해 Table 3에서 보여주는 바와 같이 같은 엔진회전수와 토크를 기준으로 하였으며, 이러한 조건은 실제의 운전상태에서 다빈도 운전영역에 근접하는 조건에 해당하는 값이다. 고무에 대한 침지시험을 수행하기에 앞서 자동차의 연료계통에 대부분 적용되고 있는 NBR 2종과 불소고무를 조사하여 선택하였다. 이러한 NBR 2종과 불소고무는 23°C 조건에서 24시간 동안 가솔린, RM50 연료에 각각 침지시킨 후 경도 변화율, 인장 변화율, 체적 변화율을 침지시키기 전과 비교하여 연료의 사용가능성에 대해

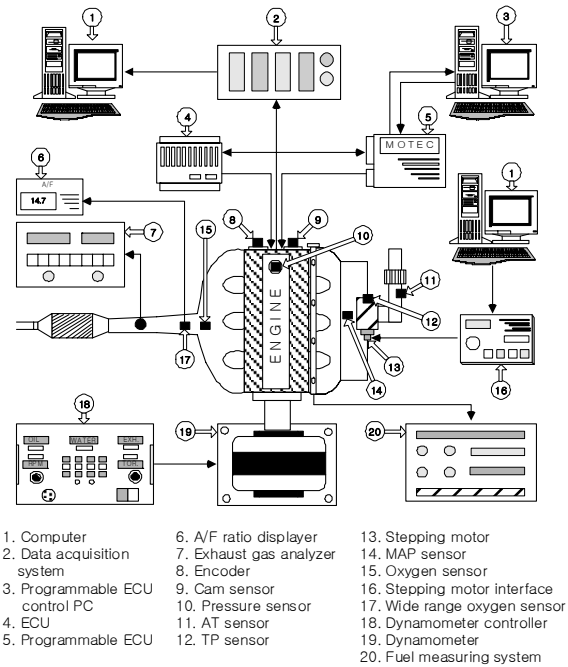


Fig. 3. Schematic diagram of experimental apparatus.

Table 2. Specifications of experimental engine.

Item	Specification
Engine type	In-line 4 cylinder, SI engine
Valve mechanism	DOHC
Displacement (cc)	1799
Bore ×Stroke (mm)	81.6 × 86
Compression ratio	9.8

살펴보았다. 또한 RM50을 사용시 높은 연소가스 온도로 인한 밸브, 피스톤 링 등의 열적변화와 내구성에 문제에 대해서는 많은 실험 결과로부터 메탄올 개질 연료는 엔진의 하드웨어적인 구조와 전자제어장치의 변경 없이 기존의 가솔린 기관에 사용할 수 있는 연료임을 연구에서 확인한 바가 있으므로 정성적인 측면에서 관찰만 하였다 [7,8,9].

3. 결과 및 고찰

3-1. 열발생률, 최대압력, 연소안정성, 연료소비율

Fig. 4는 열발생률을 비교한 것이다. 가솔린에 비해 RM50이 상대적으로 진각되었음을 볼 수 있는데 이러한 이유는 RM50의 연소속도가 빠르기 때문이며 열발생률의 최대치도 RM50이 높은 것은 빠른 연소속도로 인한 연소기간의 단축에 기인한다. 또한 1500rpm, 9.2kgf·m의 조건은 불안정한 운전상태를 보여주는데

이는 기관회전수에 비해 부하가 상대적으로 크기 때문이며, 열발생률을 비교시 가솔린보다 RM50이 상대적으로 안정됨을 알 수 있고 이러한 이유는 RM50의 가연한계 범위가 넓기 때문이다. Fig. 5는 최대압력값을 100 사이클 평균한 결과값인데 전반적으로 RM50이 load 4.6 kgf·m에서는 2~8%, load 9.2 kgf·m에서는 4~10% 정도 상대적으로 높게 나타나며, 최대압력이 크다는 것은 RM50연료가 옥탄가가 높고 폭발성이 강하기 때문에 연소속도가 빠르며 연소기간이 단축되므로 상사점을 중심으로 연소되는 비율이 커짐에 따라 등용도가 증가되면서 열효율이 개선되기 때문이다. Fig. 6는 각 연료 운전의 안정성을 판단하는 사이클 변동계수(COV, Coefficient of variation)를 나타내는 것으로 가솔린 연료의 사용시 전반적으로 높게 나타나는데 이러한 현상은 가솔린보다 RM50을 사용하여 운전시 상대적으로 안정됨을 알 수 있고 이는 RM50에 포함된 메탄올의 특성인 가연한계범위가 넓

Table 3. Experimental conditions.

Engine Speed	1500, 2000, 2500 rpm
load	4.6, 9.2 kgf·m

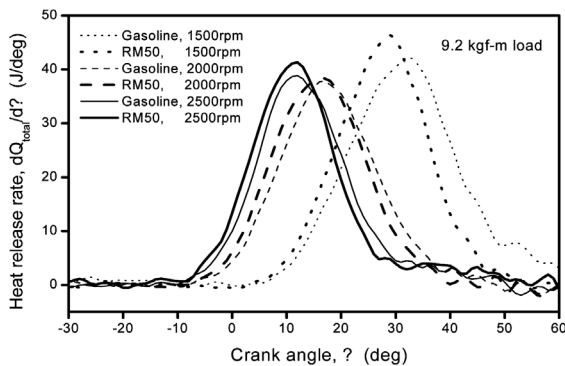
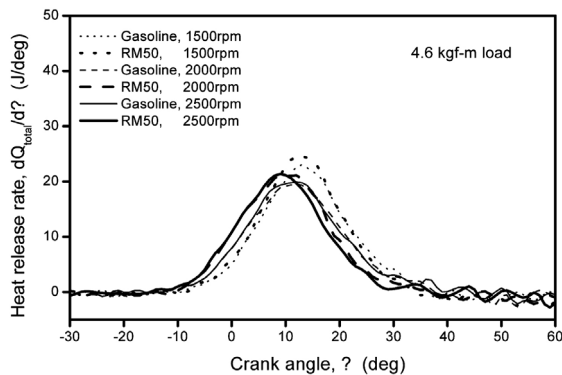


Fig. 4. Comparison of heat release rate versus crank angle for each fuel.

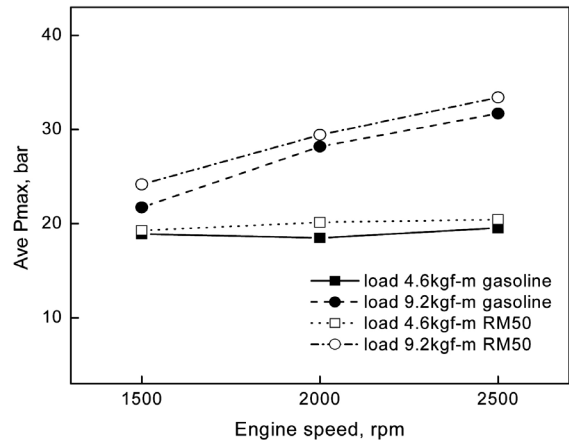


Fig. 5. Average maximum pressure for each fuel.

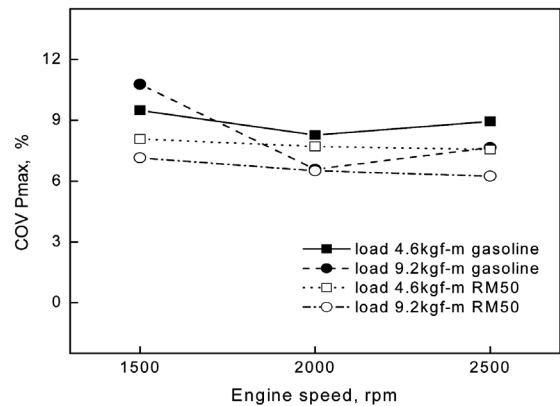


Fig. 6. COV of maximum pressure for each fuel.

기 때문인 것에 기인한다. 특히 1500 rpm, 9.2 kgf-m의 조건의 경우는 기관회전수에 비해 부하가 상대적으로 큰 불안정한 운전조건인데 이 때 두 가지 연료에 대한 COV값이 차이가 더욱 커짐을 알 수 있다. Fig. 7은 정속운전상태와 동일한 토크에서 연료소모량을 비교한 것이다. 전반적으로 RM50의 연료소모량이 상대적으로 많은데, 이는 메탄올의 체적당 발열량이 가솔린 연료에 비해 작기 때문이며 속도와 부하의 증가에 따라 선형적으로 증가하는 것을 알 수 있다.

3-2. 배출가스

Fig. 8은 각 연료에 대하여 기관회전수와 부하조건에 대한 배출가스의 발생량을 보여주고 있다. 여기서 CO의 경우 RM50이 가솔린에 비하여 배출량이 감소되어 나타났다. 이는 RM50의 H/C비율이 상대적으로 높기 때문이며, RM50의 연소속도가 빠르기 때문에 실린더내 압력과 온도가 높게 형성됨에 따라 연소가 양호하게 되어 불완전 연소시 발생하는 CO의 배출량을 줄이는 것으로 유추된다. HC의 경우도 CO의 경우와 마찬가지로 RM50이 가솔린연료에 비해 H/C비가 높고 연소속도가 빠르기 때문에 연소실 온도가 높게 형성되어 연소효율을 높이기 때문인 것으로 사료된다. NOx의 경우 RM50이 가솔린 연료를 사용하였을 때와 비교하여 4.6kgf-m의 경우 1~22%, 9.2 kgf-m의 경우 10~15%정도 배출량이 감소하였다. 이러한 현상은 RM50이 가솔린에 비해 연소속도가 빠르고 소염거리가 짧아 연소실의 온도를 상대적으로 크게 높이기 때문에 NOx의 배출물을 증가시키는 요인이 되지만 반면에 NOx의 화학적 반응 동력학 [10]과 낮은 화염온도가 더욱 지배적으로 작용되어 전체적으로는 NOx의

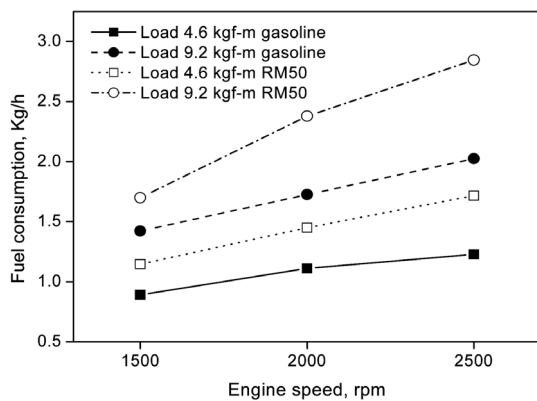


Fig. 7. Brake fuel consumption for each fuel.

배출물을 감소시키는 것으로 유추된다.

3-3. 소음, 진동

Fig. 9은 각 조건에서 발생하는 소음을 비교한 것이다. 전반적으로 RM50의 소음이 0.5~2 dB 정도 크며, 이는 RM50의 연소속도가 빠르기 때문에 나타나는 높은 압력상승률과 압력 최고치에 기인한다. 이러한 소음은 기관회전수와 부하에 비례하여 증가한다. 단지, 1500 rpm, 9.2 kgf-m 조건에서는 가솔린 연료가 RM50 연료보다 소음이 상대적으로 크게 나타나는데, 이는 불안정한 연소에 따라 요구하는 토크를 출력하기 위해 많은 연료가 연소하기 때문에 나타나

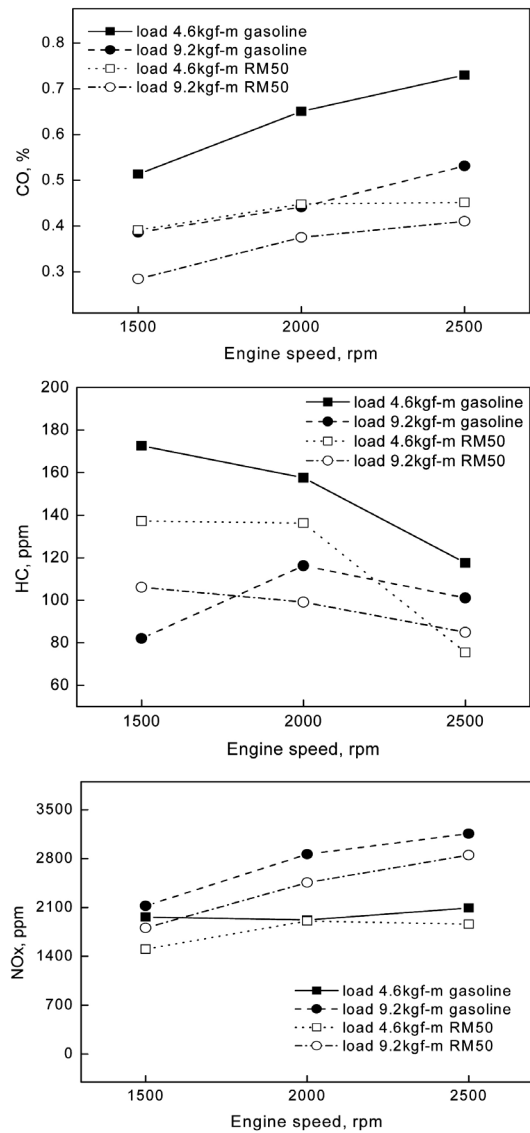


Fig. 8. Emissions characteristics for each fuel.

는 예외 결과라고 볼 수 있다. Fig. 10과 같이 진동의 경우도 소음과 같은 경향을 보이며 전반적으로 기관 회전수와 부하에 비례하나 2000 rpm에서는 예외의 경향을 보이는데 이는 엔진의 고유진동수의 주파수에 연소압력에 의한 진동의 주파수가 근접한 것으로 예측된다.

3-4. 고무침지

Fig. 11은 NBR 2종에 대한 실험 결과값으로써, 경도의 경우 가솔린은 18%만큼 감소되어 변화된 반면 RM50은 22%로 변화량이 약간 크게 나타났다. 또한 인장변화율의 경우 가솔린은 45%, RM50은 50%의 변화를 보여 큰 차이를 보이지 않았으며 체적변화율의 변화율은 가솔린이 21%만큼 증가한데 비하여 RM50은 34%의 증가된 체적팽창율을 보였다. 이상의 결과로부터 NBR 2종의 경우 RM50은 가솔린과 거의 유사하거나 약간 부족한 고무 침지특성을 보이는 것을 알 수 있었다. Fig. 12에서와 같이 불소고무의 결과에서 경도는 특이하게도 가솔린의 경우 약간 증가하는

결과를 보였으며, RM50의 경우가 6Hs만큼에 해당하는 2%의 감소를 보였다. 인장변화율은 가솔린이 47%, RM50이 50%의 변화를 보여주었고, 체적변화율은 가솔린은 2%, RM50은 8%의 증가율을 보였다. 이상의 결과로부터 불소고무의 경우는 RM50이 가솔린과 거의 유사한 경향을 보임을 알 수 있었다.

4. 결론

본 연구에서 RM50연료의 특성을 가솔린과 비교하기 위해 가솔린엔진을 동일한 엔진회전수와 토크를 기준조건으로 연소와 배출가스 특성, 소음 및 진동 등의 특성을 비교하였다

- (1) 최대압력값은 RM50이 가솔린에 비해 상대적으로 높게 나타나는데, 최대압력이 크다는 것은 RM50연료 사용시 옥탄가가 높고 폭발성이 강하기 때문이며 상사점을 중심으로 연소되는 비율이 증가되어 열효율이 개선시킬 수 있다.
- (2) 운전의 안정성을 판단하는 사이클 변동계수는 RM50이 상대적으로 낮게 나오는데 이러한 현상

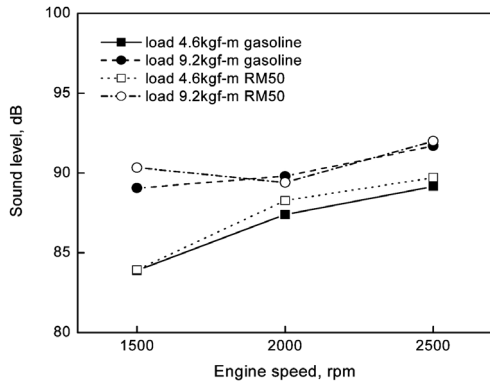


Fig. 9. Noise characteristics for each fuel.

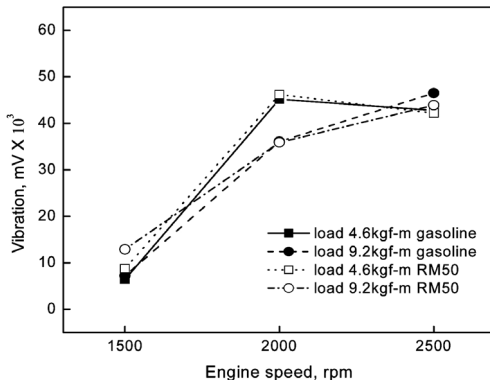


Fig. 10. Vibration characteristics for each fuel.

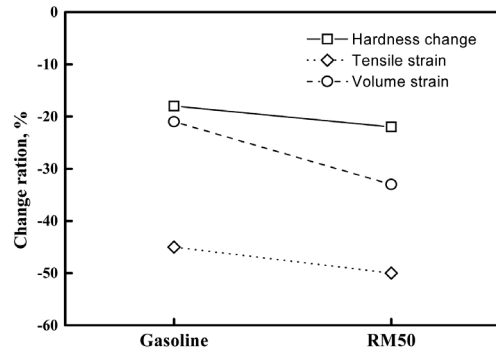


Fig. 11. Results of corrosion of rubber(NBR 2).

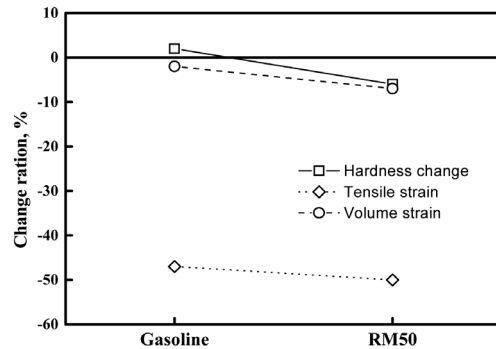


Fig. 12. Results of corrosion of rubber(fluorine).

은 가솔린보다 RM50이 연료내에 포함된 메탄올의 특성인 가연한계범위가 넓기 때문이며 따라서 안정된 연소를 기대할 수 있다.

- (3) 배출가스는 모든 운전조건에서 전반적으로 RM50이 가솔린 연료에 비해 감소된 결과를 보여주었다. 이중에서 HC가 상대적으로 감소되는 폭이 작았고, NO_x는 연소실내의 온도에 비해 화학적 반응 동력학의 요인이 더욱 지배적으로 작용되어 전반적으로 RM50이 적게 배출되는 결과를 보여주는 것으로 유추되었으며, CO의 감소는 RM50이 높은 연소실 온도를 유지하여 불완전 연소가 감소시키는데 기인한다고 유추된다.
- (4) 소음특성은 전반적으로 RM50의 소음이 0.5~2 dB 정도 크며, 이는 RM50의 연소속도가 빨라 상대적으로 높은 압력상승률과 압력 최고치에 의한 결과이다.
- (5) NBR2종과 불소고무를 사용한 고무침지 실험 결과 RM50이 가솔린에 비해 경도의 감소변화와 체적의 증가변화율에 있어서는 약간 크게 나타났지만 인장변화율은 거의 유사한 경향을 보였다.

후 기

본 연구는 2009년 인하공업전문대학 교내연구비의 지원으로 진행되었으며, 지원하여 주신 기관에 감사드립니다.

참고문헌

1. Battista, V. 외: "Review of the Cold Starting Performance of Methanol and High Methanol Blends in Spark Ignition Engines : Neat Methanol", SAE Paper No. 902154, (1990).
2. Justin F. 외: "Hydrogen for Cold Starting and Catalyst Heating in a Methanol Vehicle", SAE Paper No. 951956, (1995).
3. Houliang L. 외: "The Effects of Methanol and Ethanol on the Oxidation of a Primary Reference Fuel Blend in a Motored Engine", SAE Paper No. 950682, (1995).
4. Alasfour, 외: "Butanol-A Single Cylinder Engine Study : Engine Performance", Int. J. energy Res., Vol. 21, 221~30, (1997).
5. Lee, C.S 외: "Effect of Methanol blended fuel on combustion characteristics in a engine", Transactions of the KSME B, Vol. 20, No. 10, 3381~3386, (1996).
6. <http://www.autoenv.org>.
7. Abu-Qudais M. 외: "Engine Performance using Vaporizing Carburetor", Energy Conversion and Management, Vol. 42, pp. 755~761, (2001).
8. Seiji M. 외: "Technology Assessment of Alternative Fuels by CO₂ Fixation Use in Passenger Cars", Energy Conversion and Management, Vol. 38, pp. 455~460, (1991).
9. Justin F. 외: "Hydrogen for Cold Starting and Catalyst Heating in a Methanol Vehicle", SAE Paper No. 951956, (1995).
10. Newhall H. K. 외: "Direct Spectroscopics Determination of Nitric Oxide in Reciprocating Engine Cylinders", SAE Paper No. 670122, (1967).