

에탄올 및 수소농후가스 혼합연료 기관의 운전영역에 따른 성능 및 배기 특성

박철웅*¹⁾ · 김창기¹⁾ · 최영¹⁾ · 오승묵¹⁾ · 임기훈²⁾

한국기계연구원¹⁾ · 과학기술연합대학원대학교²⁾

The Performance and Emission Characteristics on Operating Condition for the SI Engine Fuel with Gasoline-Ethanol and Hydrogen Enriched Gas

Cheolwoong Park*¹⁾ · Changgi Kim¹⁾ · Young Choi¹⁾ · Seungmook Oh¹⁾ · Gihun Lim²⁾

¹⁾Korea Institute of Machinery and Materials, 171 Jang-dong, Yuseong-gu, Daejeon 305-343, Korea

²⁾University of Science and Technology, Daejeon 305-333, Korea

(Received 30 December 2008 / Accepted 17 August 2009)

Abstract : Trends of the automotive market require the application of new engine technologies, which allows for the use of different types of fuel. Since ethanol is a renewable source of energy and it contributes to lower CO₂ emissions, ethanol produced from biomass is expected to increase in use as an alternative fuel. It is recognized that for spark ignition (SI) engines ethanol has advantages of high octane number and high combustion speed. In spite of the advantages of ethanol, fuel supply system might be affected by fuel blends with ethanol like a wear and corrosion of electric fuel pumps. So the on-board hydrogen production out of ethanol reforming can be considered as an alternative plan. This paper investigates the influence of ethanol fuel on SI engine performance, thermal efficiency and emissions. The results obtained from experiments have shown that specific fuel consumption has increased by increasing ethanol amount in the blend whereas decreased by the use of hydrogen-enriched gas. The combustion characteristics with hydrogen-enriched gaseous fuel from ethanol reforming are also examined.

Key words : Gasoline engine(가솔린 엔진), Alternative fuel(대체연료), Ethanol(에탄올), Hydrogen-enriched gaseous fuel(수소농후가스), Thermal efficiency(열효율), Specific fuel consumption(연료소비율), Combustion stability(연소안정성)

Nomenclature

BMEP : brake mean effective pressure, MPa
MBT : minimum spark advance for best torque, degree
BSFC : brake specific fuel consumption, g/kWh
COV_{IMEP} : coefficient of variation of indicated mean effective pressure, %

1. 서론

세계적으로 자동차의 사용이 증가함에 따라 자동차의 주 에너지원인 석유계 연료의 고갈 및 유해배출가스에 의한 환경오염 문제가 주요한 관심사가 되고 있다. 석유계 연료의 고갈 문제는 오래 전부터 대두되었으나 최근 들어 유가의 급등에 따른 경제적 문제 때문에 대체 에너지의 개발이 더욱 촉구되고 있다. 이와 더불어 자동차의 엔진으로부터 방출되는 인체에 유해한 성분인 HC, CO, NO_x 등과 CO₂

*Corresponding author, E-mail: cwpark@kimm.re.kr

증가에 의한 지구 온난화 현상이 에너지 고갈 문제와 함께 앞으로 해결해야 할 주요한 문제가 되고 있다.

이에 따라 대체연료는 엔진의 출력 성능을 유지하여야 할 뿐 아니라 CO, HC, NO_x, CO₂, 알데히드 등과 같은 배출가스 발생도 적어야 하며 황 성분이 나 질소 성분을 함유하지 않은 저공해 연료를 선택해야 한다. 현재까지 검토된 대체연료의 종류로는 메탄올, 수소 등이 있으나 각각 저장방식, 생성시의 문제, 화학적 화합물이라는 단점으로 인해 식물자원에서도 추출이 가능한 에탄올 대체연료에 관심이 집중되고 있다. 그 외에도 에탄올은 환경적 차원에서 기존 가솔린에 비하여 오염물질의 배출이 적은 장점이 부각되는 연료이다.

최근 북미 지역에서 에탄올을 대체연료로 사용하는 방안이 점진적으로 현실화되어 가솔린에 혼합하여 사용되고 있다. 이전에도 노킹 현상을 감소시키는 Anti-knock제로도 사용되었으나 주 연료로 실용화 되는 것은 비교적 최근의 일이다.¹⁾ 에탄올 함유 연료는 일반 화석연료에 비해 온실 효과를 일으키는 가스 배출량이 적어서 환경을 깨끗하게 유지하는데 크게 공헌할 것이며, 에탄올은 일반 연료보다 더 깨끗하게 연소되기 때문에 엔진이 더 청결하게 유지될 수 있어 결국 자동차의 수명을 연장시키게 될 것이라는 전망 하에 캐나다 정부에서도 CRFA (Canadian Renewable Fuels Association)와 공동으로 운전자들로 하여금 에탄올이 섞인 연료를 사용하도록 캠페인을 벌이고 있다. 에탄올을 사용한 자동차의 개발은 북미에서 에탄올 0~85% 까지 사용이 가능한 가변 연료자동차(FFV; Flex Fuel Vehicle) 등이 개발되어 상용화되고 있다.

그러나 이러한 에탄올 연료의 장점에도 불구하고, 가변 연료자동차의 경우 가솔린 엔진의 실린더 헤드 부분의 예열장치, 점화장치 및 연료라인의 개선 등의 부분을 개선하여 사용해야 하므로 가솔린 전용 엔진과는 차이가 있다. 또한 에탄올에 관한 일부 연구결과에서는 부식성 등의 단점이 거론되고 있어 재질을 변경하거나 연료의 성분을 조정하여 단점을 줄이는 방법을 연구하고 있다.²⁾

따라서 본 연구에서는 에탄올 연료의 혼합으로 인한 단점을 해결하기 위한 방안의 하나로 에탄올

을 개질한 때 생성되는 수소농후가스가 엔진에 공급되었을 때 유용성 및 엔진성능이 보장되는 범위 내에서 연비 및 효율향상 정도와 배기가스 배출 특성이 어떤 경향을 보이는지 확인하고자 하였다. 아울러 엔진의 성능 및 배출가스 특성에 민감한 영향을 미치는 운전조건을 변화시킬 경우, 연료의 변화에 따른 성능 및 배출특성의 변화를 검토하여 대체연료로서 에탄올의 특성을 알아보았다.

2. 실험장치 및 방법

본 연구에서는 전기점화방식의 엔진에서 연료 변화에 따른 영향을 실제 엔진을 통해 검토하기 위해 2L 4기통 가솔린 엔진을 설치하여 주요 엔진 성능에 대한 실험을 하였다.

2.1 실험장치

Fig. 1에 본 연구에 사용된 시험장치의 전체적인 구성을 나타내었다. 기존 2L CVVT 엔진을 기초로 하여 에탄올 혼합연료 및 수소농후가스 공급 및 제어를 위한 여러 가지 시스템을 추가하였으며, 엔진의 제원을 Table 1에 나타내었다.

엔진에 공급되는 에탄올 혼합연료는 기존의 가솔린과 에탄올을 각각 15%와 85%의 비율로 혼합한 연료를 사용하였다. 수소농후가스의 경우 원활한 실험을 위하여 개질장치를 통해 생산되는 가스를 직접 사용하지 않고, 최적의 개질 조건에서 얻을 수 있는 수소농후가스의 성분비에 해당하는 모사가스(SRG; Simulated Reformed Gas)를 사용하였다. Table 2는 실험에 사용된 연료의 물성치 및 성분 비율을 나타낸다.

컴퓨터에 의해 제어되는 ECS(Engine Control System)을 이용해 가솔린 및 혼합 연료의 분사량과 분사시기 및 점화시기를 임의로 조절이 가능하도록 하였다. 엔진의 속도 및 부하는 와전류식 동력계(Schenck)를 이용하여 제어하였고, 엔진 컨트롤 장비(SAM 2000)를 통해 엔진의 회전수 및 스로틀 개도 등 엔진 제어변수를 모니터링 하였다.

운전조건 별로 연료소모율을 측정할 수 있도록 체적식 연료소모율계를 설치하고, 배기 라인에 가스 추출라인(Gas sampling line) 설치하여 배출가스

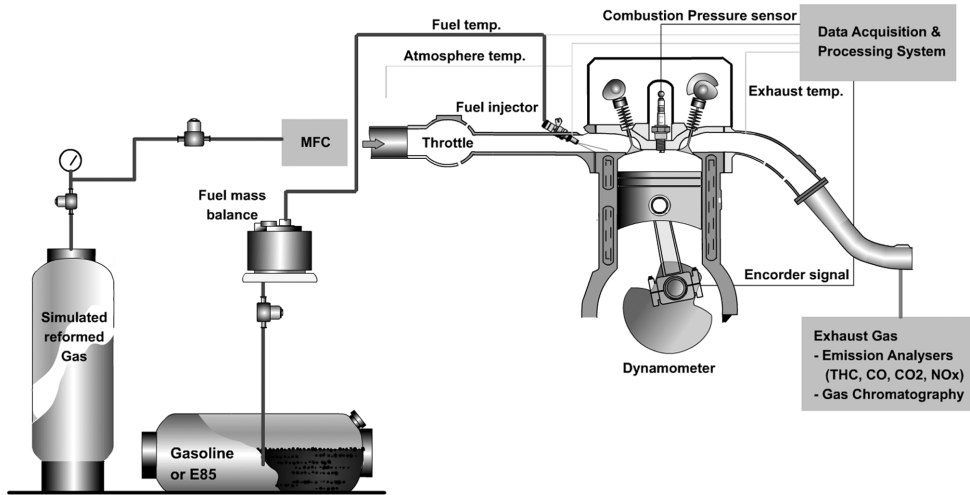


Fig. 1 Schematic diagram of engine experiments setup

Table 1 Test engine specifications

Item	Specifications
Bore	82 mm
Stroke	93.5 mm
Compression ratio	10.1
Idle speed	700 ± 100 rpm
Intake timing	BTDC 9° / ABDC 43°
Exhaust timing	BBDC 50° / ATDC 10°
Valve overlap	15°

Table 2 Comparison of fuel properties

Characteristics	Ethanol	Gasoline	SRG
Heat of vaporization (kJ/kg)	880	379	H ₂ :18%, CO:15%, CO ₂ :12%, N ₂ :55%
Lower heating value (MJ/kg)	28	43.5	
Average octane number (RON+MON)/2	104	91	
Stoichiometric air/fuel ratio	9.0	14.7	
Oxygen mass content (%)	32	0	

농도를 독립적으로 측정(Horiba 7100D)할 수 있도록 하였다. LA 4 lambda meter(ETAS Co.)를 이용해 공연비를 측정하였고, 연소특성 분석은 1번 실린더에 장착된 실린더 압력 센서(Kistler)와 연소해석기(Indiset, AVL)를 통해 이루어 졌다.

2.2 실험방법

본 연구의 대상이 되는 차량은 승용 가솔린 차량

으로서, 시험 시 운전조건은 대상차량의 주요 운전 영역인 중, 저속 영역에서 운전이 이루어진다. 따라서 시험 시 운전조건을 1,500 rpm, 2,000 rpm, 2,500 rpm의 속도 조건에서 부하를 BMEP 0.2 MPa에서 0.6 MPa까지 0.1 MPa 간격으로 변화시키면서, 적용 가능한 연료에 따른 성능을 살펴보았다.

엔진 동력계의 토크값을 부하조건에 맞게 변경하여 실험하였으며, 해당 BMEP에 대한 토크값은 다음 식으로부터 얻을 수 있다.

$$T = \frac{BMEP \times V}{6.28n_R}$$

여기서 V와 n_R은 각각 행정체적, 출력행정 당 크랭크 회전수이다.

연소특성 분석을 위한 연소실 압력 데이터는 100 사이클을 평균한 값이며 이 값으로부터 IMEP와 IMEPCOV를 계산하여 연소안정성을 검토하였다.

엔진이 충분히 Warm-up 된 상태에서 냉각수 온도가 82.5 ± 2.5°C에서 유지되도록 냉각수 온조절 시스템을 설정하고, 공연비는 전 실험구간에서 이론공연비인 λ=1을 유지하며 측정하였다. 각각의 실험조건에 대해 점화시기를 변경하여 MBT(Minimum Advance for Best Torque)를 찾았으며 연료에 따른 연비, 배기가스 배출량, 연소안정성 등을 검토하였다.

수소농후가스는 모사가스가 담겨있는 여러 개의

가스분배를 병렬로 연결하고 압력조정기를 이용하여 0.5 MPa의 압력으로 MFC(Mass Flow Controller)로 전해진 뒤 쓰로틀 바디 진단에서 대기압으로 흡입공기와 섞인 후 흡기매니폴드로 공급되도록 하였다. 여기서 수소농후가스의 공급을 에탄올이 개질될 때 수소의 수율이 가장 높을 때인 최적의 조건을 기준으로 하여 일정한 양을 공급하였기 때문에, 부하가 낮은 실험조건에서 공급되는 수소농후가스의 비율은 기존의 가솔린 연료 대비 약 11% 정도이며 상대적으로 높은 부하 조건에서는 약 8% 수준으로 공급되었다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 효율 및 연비 특성

가솔린엔진의 효율은 일반적으로 저속, 저부하 영역에서 펌핑손실 및 연소 안정성의 악화에 의한 영향을 받고, 고속, 고부하시에는 마찰손실 및 냉각손실로 인한 저감으로 인해 통상적으로 기대할 수 있는 이상적인 오토사이클의 열효율에 크게 못 미치는 20% 수준을 유지한다. 이러한 효율 저하 원인을 연료의 다양화를 통하여 해결할 수 있다면 하이브리드용 가솔린엔진과 같이 엔진의 운전범위를 일반 자동차용 엔진과 달리 연비효율 및 연소안정성이 우수한 영역으로 제한하지 않더라도 높은 열효율을 확보할 수 있게 된다.^{3,4)}

다양한 운전조건에 대해서 가솔린만을 사용한 경우와 가솔린-에탄올 혼합연료 및 가솔린에 수소농

후가스 적용에 따른 연료소비율 및 열효율의 변동을 각각 Fig. 2와 Fig. 3에 나타내었다. 에탄올(28 MJ/kg)의 경우 기존의 가솔린(43.5 MJ/kg)에 비해 약 35.6% 정도 발열량이 낮기 때문에, 에탄올의 혼합율에 따른 발열량은 혼합율이 증가함에 따라 직선적으로 감소한다. 따라서 기관의 열효율이 사용연료에 관계없이 일정하다고 가정할 경우 동일한 출력을 얻기 위해서는 에탄올 혼합율의 증가에 따라 더 많은 양의 연료를 공급하여야 한다.⁵⁾ 가솔린-에탄올 혼합연료를 사용한 경우, 에탄올의 기화성능이 좋기 때문에 가솔린만을 연료로 사용한 경우에 비하여 점화시기가 진각되어 효율을 증가시킬 것으로 기대할 수 있다. 그러나 동시에 에탄올을 사용함으로써 인해서 Fig. 2에서와 같이 볼 수 있는 연료소비율의 증가는 엔진속도 및 부하가 증가할 경우 충전효율의 저감으로 인한 효율의 감소를 초래하는 원인으로 작용할 수 있다.

상기와 같은 원인으로 인하여 1,500 rpm의 엔진회전속도에서는 부하의 변화에 관계없이 효율의 변화가 거의 나타나지 않았으나, 엔진속도가 증가할수록 점화시기의 차이가 크지 않기 때문에 1,600 rpm 이상의 엔진회전속도 범위에서는 대부분의 운전영역에서 효율이 감소되었으며, 특히 2,000 rpm BMEP 0.4 MPa의 운전조건에서 급격한 연료소비율의 증가로 인해 약 2.4% 정도의 효율 감소를 보였다. 이것은 연료에 따라서 운전영역의 변화에 대한 효율의 변화 정도가 달라짐을 나타내는 결과이며, 혼합연료를

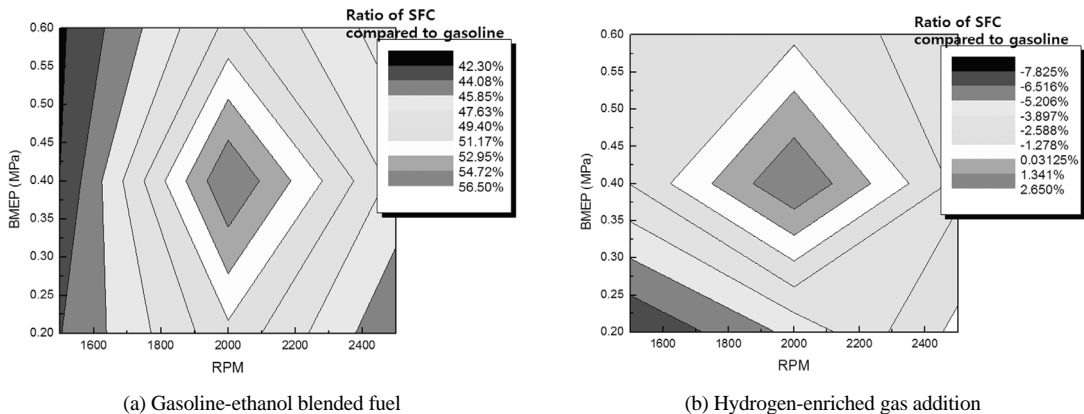


Fig. 2 Effect of fuel blending on SFC differences between base(gasoline only) and blended fuels

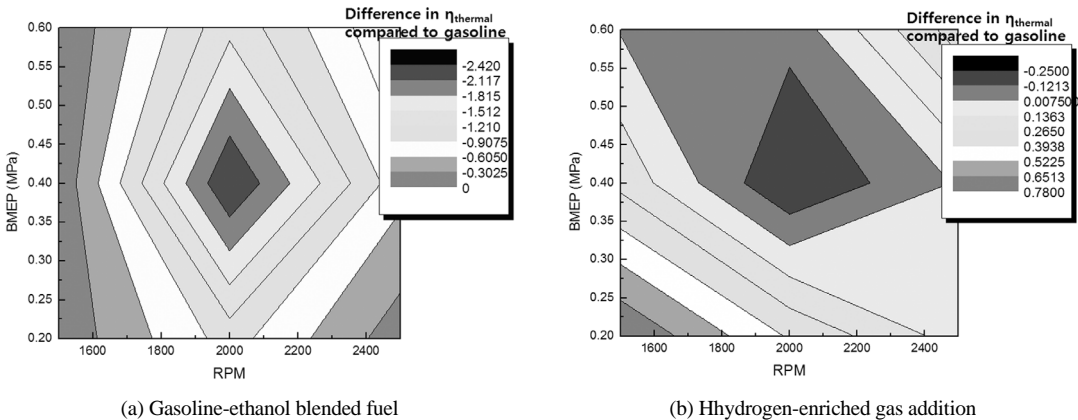


Fig. 3 Effect of fuel blending on thermal efficiency differences between base(gasoline only) and blended fuels

엔진에 적용할 경우 최대의 효율에서 운전되기 위해서는 조건별로 최적화가 필요함을 알 수 있다.

가솔린에 수소농후가스를 적용할 경우 연소영역이 희박한 영역으로 갈수록 수소첨가에 의한 연소안정성 향상으로 안정적인 연소가 확보된 상태에서 열효율이 증대되지만, 이론공연비 근처에서는 열효율 향상이 거의 관찰되지 않거나 오히려 감소하는 경향이 있다.⁶⁾ 그러나 본 연구에서 수소농후가스 적용에 따른 열효율 및 연료소비율의 변동을 살펴보면, 수소농후가스가 첨가되면 대부분의 영역에서 열효율이 향상되었으며 이는 에탄올이 혼합된 실험의 결과와는 다른 특성을 보여주고 있는 결과이다. 이것은 수소농후가스의 첨가로 인한 연소속도 및 연소효율의 증가가 효율의 증가로 나타난 것으로 판단된다.

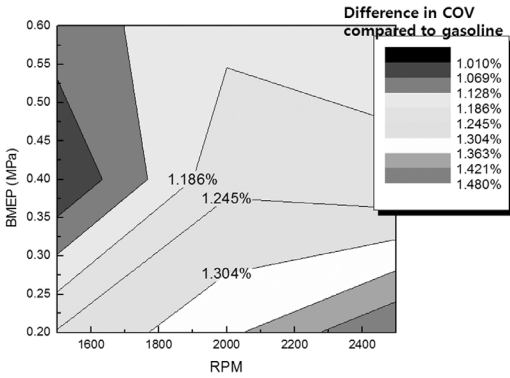
엔진의 회전수가 증가할수록 마찰로 인한 손실이 증가하기 때문에 효율의 증가가 크지 않지만, 엔진속도가 비교적 낮은 경우에는 연소온도의 감소 및 스토폴 개도의 증가로 인한 펌핑손실의 저감^{7,8)}이 연료소비율을 감소시킴으로써 효율의 증대를 더욱 크게 한 것으로 판단된다. 2,000 rpm BMEP 0.4 MPa의 운전조건에서는 에탄올 혼합연료를 사용한 경우와 마찬가지로 오히려 효율이 감소된 결과를 보이는데, 이것은 이론공연비 조건에서 수소농후가스를 첨가하더라도 완전연소에 필요한 공기의 양이 충분하지 않아 연료소모율은 증가하여 효율이 감소하기 때문인 것으로 보인다.

3.2 연소안정성

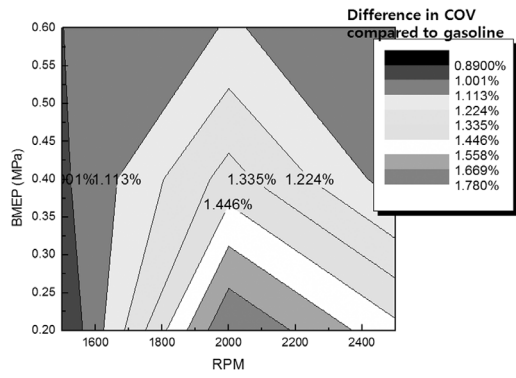
운전조건 및 혼합연료의 적용에 따른 연소안정성의 변동을 Fig. 4에 나타내었다. 혼합연료의 종류에 관계없이 일반적인 가솔린 연소에서와 유사하게 회전속도의 증가에 따른 COV_{IMEP} 값의 변화는 크지 않았다. 실험에 적용된 운전조건의 전 영역에서 2% 이하로 안정적인 연소특성을 보이고 있으나, 수소농후가스를 첨가한 경우가 에탄올을 첨가한 경우에 비하여 약간 높은 COV_{IMEP} 값을 나타내고 있다. 이것은 수소농후가스 내의 성분에 의한 영향으로서 개질된 수소농후가스를 기존 연료에 첨가하여 연소특성이 개선되기 위해서는 수소의 비율이 높아야 하나 실제 개질기에서 나오는 가스는 부분산화 과정 중에 다양한 성분을 포함하게 되기 때문에 나타나는 결과로 볼 수 있다. 수소농후가스는 수소 이외에도 달리 여러 종류의 성분을 포함하고 있으며, 특히 연소안정성의 경우 CO₂ 및 N₂와 같은 불연성 가스에 의하여 영향을 받는다.^{9,10)} 따라서 100%의 수소를 첨가하는 경우와 비교할 때 연소성능 측면에서 불리하다는 단점이 있다.

3.3 배출가스 특성

THC의 배출은 연소에서 산소의 가용성에 크게 의존하며 크레비스 또는 소화층에서의 발생이 가장 많고 지연연소에도 많은 영향을 받는다. 이에 반해 NOx의 배출은 연소온도의 지속시간 및 산소의 이용성에 크게 의존하는 것으로 알려져 있다.¹¹⁾ Fig. 5

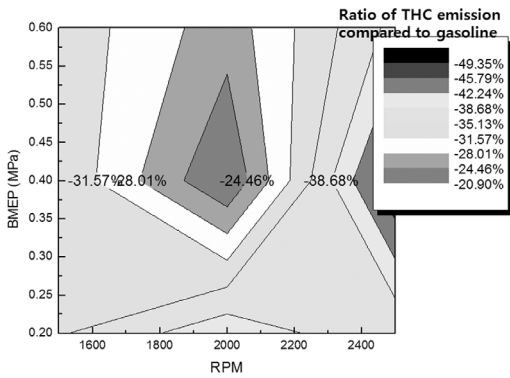


(a) Gasoline-ethanol blended fuel

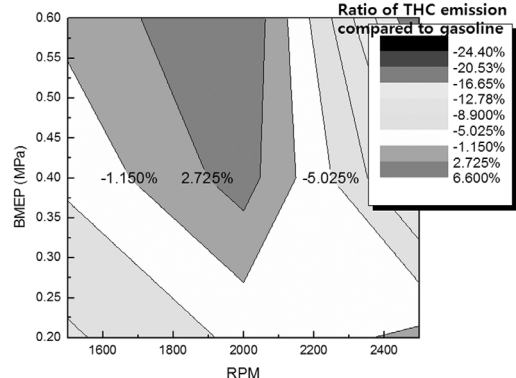


(b) Hydrogen-enriched gas addition

Fig. 4 Effect of fuel blending on combustion stability differences between base(gasoline only) and blended fuels

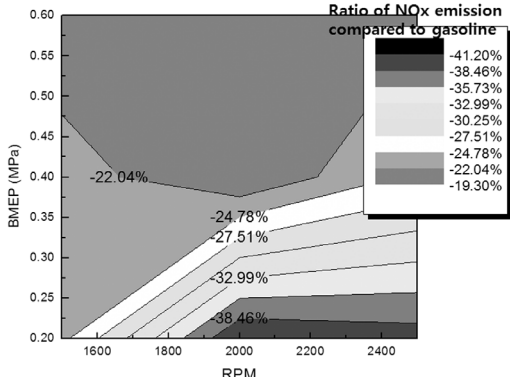


(a) Gasoline-ethanol blended fuel

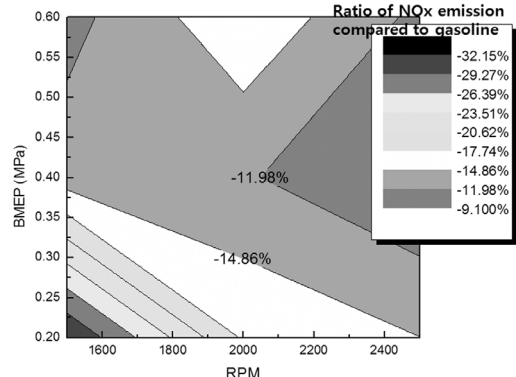


(b) Hydrogen-enriched gas addition

Fig. 5 Effect of fuel blending on improvement of THC emission



(a) Gasoline-ethanol blended fuel



(b) Hydrogen-enriched gas addition

Fig. 6 Effect of fuel blending on improvement of NOx emission

와 Fig. 6에 운전조건에서 혼합연료에 따른 THC와 NOx의 배기성능을 나타내었다.

가솔린-에탄올 혼합연료를 사용한 경우, 에탄올

의 기화성능이 좋기 때문에 가솔린만을 연료로 사용한 경우에 비하여 전영역에서 THC의 저감 현상이 나타났다. 극성을 띠는 에탄올 분자의 특성 또한

운활유내의 비극성 분자에 쉽게 흡수되지 않게 함으로써 THC를 저감시키는 원인 중의 하나로 볼 수 있다. 그러나 수소농후가스가 첨가된 경우는 THC 배출 저감효과가 낮고 효율이 낮은 영역에서는 증가하는 결과를 보이고 있다. 수소농후가스를 첨가하더라도 기존의 가솔린 연료량은 크게 줄어들지 않고 흡기로 유입되는 공기량이 오히려 줄어들기 때문에, 연소실내에서 THC의 산화에 필요한 산소의 가용성이 떨어지게 되어 나타나는 현상으로 판단된다. 이전의 연구결과에 의하면 희박한 영역에서 수소비율이 증가되었을 때 THC의 감소가 가능하지만, 이론공연비 영역에서는 수소농후가스의 첨가로 인한 연소속도의 증가가 THC의 저감에 크게 영향을 미치지 못하는 것으로 보고된바 있다.⁶⁾

산소의 가용성에 의한 영향은 NOx의 배출에서도 잘 나타나는데 THC의 배출과 유사하게 에탄올이 혼합된 경우가 NOx 배출의 개선효과가 높게 나타났다. 특히 에탄올 혼합연료를 사용한 경우 에탄올이 가솔린에 비해 증발 잠열이 높기 때문에, 혼합기의 온도가 감소하여 연소온도를 떨어뜨린 것이 NOx 배출을 감소시킨 원인으로 판단된다. 고부하 조건에서는 NOx 배출에 관계되는 고온연소 지속시간이 증가하여 기존 가솔린 연소에 비해 NOx 저감이 낮은 경향을 보여주고 있다.

일반적으로 수소가 첨가될 경우 높은 연소온도로 인하여 NOx의 배출이 증가하게 되는데, 수소농후가스의 경우에는 CO₂ 및 N₂가 포함되어 있기 때문에 EGR을 적용한 것과 같은 희석효과를 기대할 수 있다. 희박연소영역에서의 연소온도의 감소는 thermal NOx의 배출을 억제하는 데 큰 영향을 미치는 것으로 알려져 있으며¹²⁾, 수소농후가스의 첨가로 인한 희박연소영역의 증가도 NOx의 배출에 영향을 미친 것으로 보인다. 수소농후가스의 적용 시 혼합기로 유입되는 수소농후가스의 양이 일정한 조건이기 때문에, 부하가 낮을수록 전체 혼합기에 대한 수소농후가스의 비율이 높다. 따라서 비교적 높은 부하 조건에 비해 희석효과에 의한 영향이 크고 저감율도 높게 나타났다.

Fig. 7의 배출물 저감 성능 비교결과에서 볼 수 있는 것과 같이 에탄올 또는 수소농후가스의 첨가로

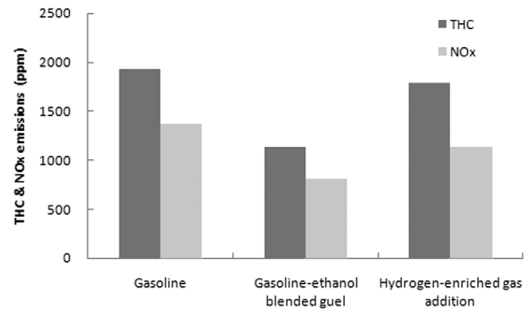


Fig. 7 Effect of fuel blending on THC and NOx emissions

인하여 각각 최대 41%, 32%의 NOx의 배출이 저감되었으며, 수소농후가스의 경우 THC 배출개선효과는 크지 않았다. 엔진의 운전조건에 따른 경향은 엔진속도의 변화에 의한 영향에 비해 부하에 의한 영향이 크게 나타났다.

4. 결론

본 연구에서는 가솔린엔진을 대상으로 에탄올 또는 수소농후가스 연료를 첨가하여 시험한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 에탄올의 혼합에 의한 연료소비율의 증가는 엔진속도 및 부하가 증가할 경우 충전효율의 저감으로 인한 효율의 감소로 나타났으나, 수소농후가스의 첨가 시에는 연소속도 및 연소효율이 증가하여 열효율이 증가하였다.
- 2) 혼합연료를 사용할 경우 특정 운전조건에서 급격한 연료소비율의 증가로 인해 효율 감소가 나타나는데, 이는 연료에 따라서 운전영역의 변화에 대한 효율의 변화 정도가 달라짐을 나타내는 결과이며, 혼합연료를 엔진에 적용할 경우 최대의 효율에서 운전되기 위해서는 조건별로 최적화가 필요함을 보여주는 결과이다.
- 3) 실험에 적용된 운전조건의 전 영역에서 기준이 되는 가솔린만을 연소한 경우와 COVIMEP 값이 차이가 크지 않고 2% 이하로 안정적인 연소특성을 보였으나, 수소농후가스 내의 불활성 가스로 인해 에탄올을 첨가한 경우에 비하여 연소안정성이 악화되었다.
- 4) 연소실내의 산소의 가용성은 THC 및 NOx 배출의 저감에 영향을 미치는 주요 인자로 작용하며,

혼합연료에 의한 배기성능은 수소농후가스에 비해 에탄올 연료가 혼합된 경우에 더 효과적으로 나타났다.

References

- 1) C. S. Yang, "Effect of the Ethanol/Gasoline Blends Fuel on the Performance of the Spark Ignition Engine," University of Changwon, pp.16-22, 1998.
- 2) The Center of Transport Research Energy System Division, Guidebook for Handling, Storing & Dispensing Fuel Ethanol, Argonne National Laboratory, p.8, 1998.
- 3) S. Diana, V. Giglio, B. Iorio and Police, "A Strategy to Improve the Efficiency of Stoichiometric Spark-ignition Engines," SAE 961953, 1996.
- 4) R. S. G. Baert, D. E. Beckman and A. Veen, "EGR Technology for Lowest Emissions," TNO-Paper VM9607, 1996.
- 5) K. S. Yoon and D. G. Park, "The Effect of the Excess Air Factor on the Emission Characteristics of the SI Engine Fueled with Gasoline-Ethanol Blends," Journal of Changwon University, Vol.15, pp.91-102, 2001.
- 6) S. M. Oh, C. U. Kim and K. Y. Kang, "Lean Combustion Characteristics with Hydrogen Addition in a LPG Fuelled Spark Ignition Engine," Transactions of KSAE, Vol.14, No.2, pp.114-120, 2006.
- 7) J. Przystek, A. Dabkowski and A. Teodorczyk, "The Study of Exhaust Gas Recirculation on Efficiency and NOx Emission in Spark-ignition Engine," SAE 1999-01-3514, 1999.
- 8) J. H. Son, H. Y. Kim, J. T. Chung, W. T. Kim and W. G. Lee, "The Flow and Mixing Characteristics of the Fresh Air and EGR Gas for Mixer Configurations at Downstream of Throttle Valve," Fall Conference Proceedings, KSAE, pp.134-140, 2004.
- 9) E. K. John, A. Q. Ather, M. J. Grieve, "Advanced Engine Management using on-board Gasoline Partial Oxidation Reforming for Meeting Super-ULEV(SULEV) Emission Standards," SAE 1999-01-2927, 1999.
- 10) D. I. Kristine, R. I. Jan and J. L. Peter, "Using on-board Fuel Reforming by Partial Oxidation to Improve SI Engine Cold-start Performance and Emissions," SAE 980939, 1998.
- 11) T. Per, C. Magnus, E. Patrik, A. Tobias and J. Bengt, "Hydrogen Addition for Improved Lean Burn Capability of Slow and Fast Burning Natural Gas Combustion Chambers," SAE 2002-01-2686, 2002.
- 12) I. Ziga, A. Ferran, G. Joshua and B. H. John, "Effects of Hydrogen Enrichment on Efficiency and NOx Emissions of Lean and EGR-diluted Mixtures in a SI Engine," SAE 2005-01-0253, 2005.