

<학술논문>

DOI:10.3795/KSME-B.2009.33.5.334

공기과잉률의 변화가 에탄올 및 수소농후가스 혼합연료 기관의 배기 특성에 미치는 영향

박철웅[†] · 최 영* · 오승묵* · 김창기* · 임기훈**

(2008년 12월 2일 접수, 2009년 3월 30일 수정, 2009년 4월 1일 심사완료)

The Effect of the Excess Air Factor on the Emission Characteristics of the SI Engine Fueled with Gasoline-Ethanol and Hydrogen Enriched Gas

Cheolwoong Park, Young Choi, Seungmook Oh, Changgi Kim and Gihun Lim

Key Words: Gasoline Engine(가솔린 엔진), Ethanol(에탄올), Hydrogen-Enriched Gaseous Fuel(수소 농후가스)

Abstract

Trends in 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 has lower CO₂ emissions than gasoline, ethanol produced from biomass is expected to be used more frequently as an alternative fuel. It is recognized that for spark ignition (SI) engines, ethanol has the advantages of high octane number and high combustion speed. Due to the disadvantages of ethanol, it may cause extra wear and corrosion of electric fuel pumps. On-board hydrogen production out of ethanol is an alternative plan. This paper investigates the influence of ethanol fuel on SI engine performance, thermal efficiency and emissions. The combustion characteristics with hydrogen-enriched gaseous fuel from ethanol are also examined. As a result, thermal efficiency increase compared to gasoline. Also, reductions in CO₂, NO_x, and THC combustion products for ethanol vs. gasoline are described.

기호설명

- BMEP : 계동평균유효압력(MPa)
- MBT : 최대 토크 점화시기(Crank angle)
- SFC : 연료소모율(g/kWh)
- COV_{imep} : 도시평균유효압력의 변동계수(%)
- SRG : 모사개질가스

1. 서 론

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

대체연료는 엔진의 출력 성능을 유지하여야 할 뿐 아니라 CO, HC, NO_x, CO₂, 알데히드 등과 같

[†] 책임저자, 회원, 한국기계연구원
E-mail : cwpark@kimm.re.kr
TEL : (042)868-7928 FAX : (042)868-7305
* 한국기계연구원
** 과학기술연합대학원대학교

은 배출가스 발생도 적어야 하며, 황 성분이나 질소 성분을 함유하지 않은 저공해 연료라야 한다. 현재까지 검토된 대체 연료로는 전기, 메탄올, 수소 등이 있으나 각각 저장방식 및 생성시의 문제와 같은 단점이 있기 때문에, 식물자원에서 추출 가능한 에탄올에 대한 관심이 집중되고 있다. 특히 바이오에탄올은 친환경 대체연료로서 사탕수수나 옥수수, 밀과 같은 농작물의 발효 및 농축, 증류과정을 통해 제조할 수 있으며, 온실가스의 발생을 억제할 수 있는 친환경 대체연료로 주목받고 있다.^(1,2) 그 외에도 에탄올은 높은 옥탄가와 산소함유(35%) 엔진의 압축비를 증가시켜 가솔린에 비하여 열효율을 증가시킬 수 있으며, CO 등의 오염물질의 배출이 적은 점이 큰 장점으로 부각된다. 또한, 증발잠열이 높아 흡입공기의 냉각효과를 가져와 엔진의 충전효율을 증대시키는 장점이 있다.^(3,4)

최근 북미 지역에서 에탄올을 대체연료로 사용하는 방안이 점진적으로 현실화되어 가솔린에 혼합하여 사용되고 있다. 이전에도 노킹 현상을 감소시키는 Anti-knock 제로도 사용되었으나 주 연료로 실용화 되는 것은 비교적 최근의 일이다.⁽⁵⁾ 에탄올 함유 연료는 일반 화석연료에 비해 온실효과를 일으키는 가스 배출량이 적어서 환경을 깨끗하게 유지하는 데 크게 공헌할 것이며 에탄

올은 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 조금 변형하여 사용해야 하므로 가솔린 전용 엔진과는 차이가 있다. 또한 에탄올에 관한 일부 자료에서는 부식성 등의 단점이 거론되고 있어 재질을 변경하거나 연료의 성분을 조정하여 단점을 줄이는 방법이 마련되는 추세이다.⁽⁶⁾

따라서 본 연구에서는 에탄올 연료의 혼합으로 인한 단점을 해결하기 위한 방안의 하나로 연료 개질기를 이용하여 개질된 에탄올이 수소농후가스의 형태로 엔진에 공급되었을 때 엔진의 성능 및 배출가스 특성에 미치는 영향을 알아보하고자 하였다. 아울러 엔진의 성능 및 배출가스 특성에

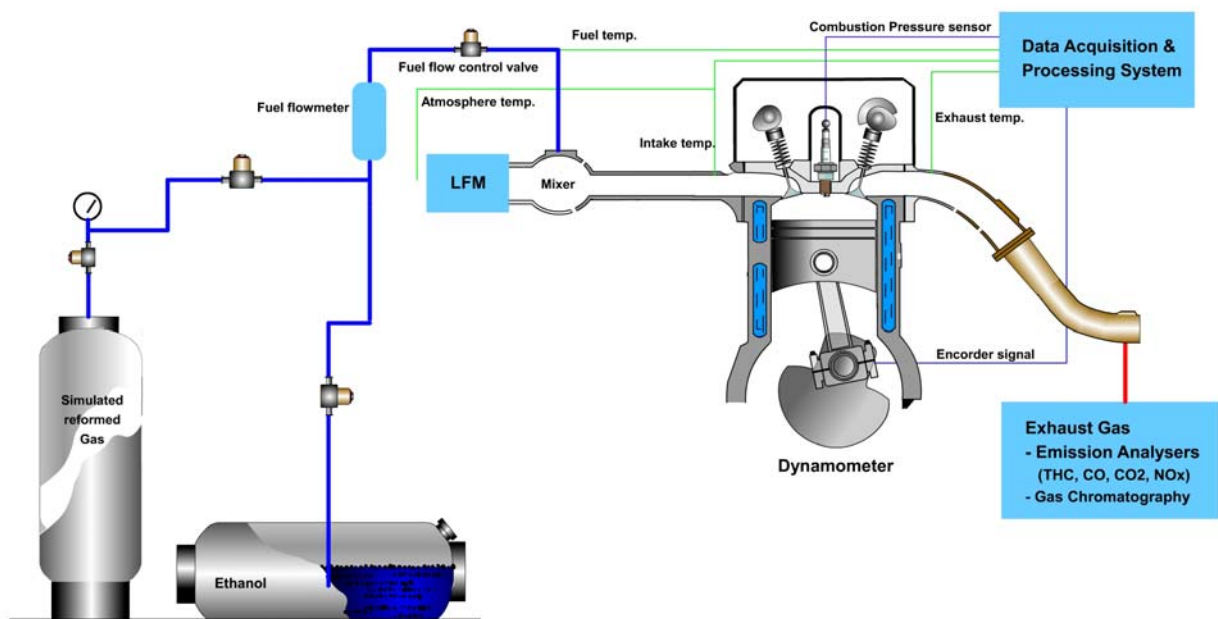


Fig. 1 Schematic diagram of engine experiments setup

민감한 영향을 미치는 공기과잉률을 변화시킬 경우, 에탄올 혼합연료를 사용하는 경우 및 수소농후가스를 사용하는 경우의 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 위해서 2L 4기통 가솔린 엔진을 설치하여 기본적인 성능 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.

수소농후가스의 경우 원활한 실험을 위하여 개

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 (LHV)
Heat of vaporization (kJ/kg)	880	379	H ₂ (120 MJ/kg): 18%, CO (10.1 MJ/kg): 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	

질장치를 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 회전수 및 부하는 와전류식 동력계를 이용하여 제어하였고, 엔진의 회전수 및 스로틀 개도 등 엔진 제어변수를 모니터링하였다. LA 4 lambda meter(ETAS Co.)를 이용해 공연비를 측정하였다.

2.2 실험방법

본 연구의 대상이 되는 차량은 승용 가솔린 차량으로서, 시험 시 운전조건은 대상차량의 주요 운전 영역인 1,500 rpm / BMEP 0.4MPa, 2,000 rpm / BMEP 0.4MPa로 설정하였다.

엔진이 충분히 Warm-up 된 상태에서 냉각수 온도가 82.5 ± 2.5℃에서 유지되도록 냉각수온 조절 시스템을 설정하고, 공연비는 전 실험구간에서 공기과잉률이 이론공연비인 λ=1에서부터 0.1단위로 증가시키면서 희박연소까지 변화시키며 측정하였다. 각각의 실험조건에 대해 점화시기를 변경하여 MBT(Minimum Advance for Best Torque)를 찾았으며 연료에 따른 연비, 배기가스 배출량, 연소안전성 등을 검토하였다.

수소농후가스는 모사가스가 담겨있는 여러 개의 가스분배를 병렬로 연결하고 압력조정기를 이용하여 0.5 MPa의 압력으로 MFC(Mass Flow Controller)로 전해진 뒤 스로틀 바디 전단에서 대기압으로 흡입공기와 섞인 후 흡기매니폴드로 공급되도록 하였다.

여기서 엔진에 공급되는 에탄올 혼합연료는 기존의 가솔린과 에탄올을 각각 Vol. 15%와 Vol. 85%의 비율로 혼합한 연료를 사용하였다. 수소농후가스의 공급은 에탄올이 개질될 때 수소의 수율이 가장 높을 때인 최적의 조건을 기준으로 하여 일정한 양을 공급하였기 때문에, 각각의 실험조건에 따라 기존의 가솔린 연료 대비 공급되는 수소농후가스의 비율은 약 3% 정도의 오차로 10% 수준으로 공급되었다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 효율 및 연비 특성

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.⁽⁷⁾

개질된 수소농후가스를 기존 연료에 첨가하여 연소특성을 기대하기 위해서는 수소의 비율이 높아야 하나 실제 개질기에서 나오는 가스는 부분 산화 과정 중에 다양한 성분을 포함하게 된다. 수소 이외에도 달리 여러 종류의 성분을 포함하고 있으므로 100%의 수소를 첨가하는 경우와 비교해서는 연소성능 측면에서 불리하며, 특히, 연소안정성은 CO₂ 및 N₂와 같은 불연성 가스에 의하여 크게 영향을 받을 수 있다.^(8,9)

연료에 따른 엔진의 연소특성을 알아보기 위해서는 압력센서로부터 얻은 압력선도와 그에 따른 열발생율선도를 이용해 해석하는 것이 일반적이다. 그러나 본 연구에서는 공기과잉률의 변화에 따른 MBT 점화시기의 변화를 관찰함으로써 연소 상태를 예측하고자 하였다. Fig. 2와 Fig. 3에 부하는 BMEP 0.4 MPa로 고정했을 때, 1,500 rpm과 2,000 rpm의 엔진 회전수에서 공기과잉률의 변화

에 따른 MBT 시기의 변화를 나타내었다. 연료에 관계없이 운전영역이 희박연소영역으로 갈수록 혼합기 내의 연료비율의 감소로 내 노크성(Anti-knock)이 증가하여 점화시기가 진각되었다. 에탄올 또는 수소농후가스를 첨가한 경우 가솔린만을 사용한 경우에 비하여 점화시기가 진각되었고, 이러한 결과는 혼합연료의 사용에 따른 연소 효율에 영향을 미칠 것으로 예상된다.

Fig. 2에서와 같이 1,500 rpm의 엔진 회전수에서는 수소농후가스의 첨가에 의한 영향이 에탄올을 첨가한 경우에 비해 크게 나타났다. 부하가 일정하고 연소실내로 공급되는 수소농후가스의 유량이 일정할 때, 엔진 회전수가 감소할수록 혼합기 내의 연료 비율이 증가하기 때문에 나타난 결과로 볼 수 있다. 그러나 $\lambda=1.4$ 이상으로 과도하게 희박한 경우 수소농후가스의 조성에 의한 특성상 연소속도의 증가 효과가 감소하여, 에탄올이 혼합된 경우에 비해 점화시기의 진각이 감소하였다.

2,000 rpm의 엔진 회전수에서는 에탄올이 혼합된 경우, 에탄올의 증발잠열에 의한 효과 및 기화성에 의한 영향이 수소농후가스가 첨가된 경우에 비해 점화시기의 진각을 크게 하였다. 이와 같은 점화시기의 진각은 연소 안정성이 확보된다는 전제하에서 혼합연료를 사용하여 연소 효율의 증가 및 저연비화가 가능함을 나타낸다.

Fig. 4와 Fig. 5에 1,500 rpm BMEP 0.4MPa 조건에서 각 연료에 대하여 공기과잉률의 변화에

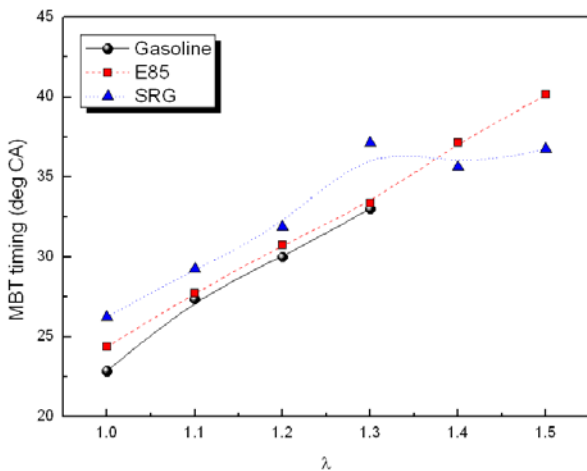


Fig. 2 The influence of air-fuel ratio on ignition timing at 1,500 rpm BMEP 0.4 MPa operating condition

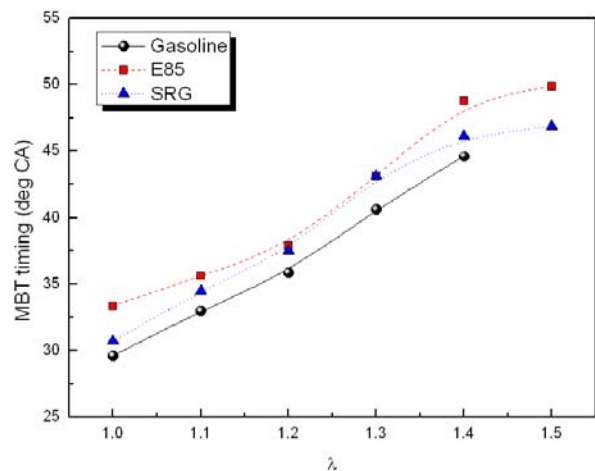


Fig. 3 The influence of air-fuel ratio on ignition timing at 2,000 rpm BMEP 0.4 MPa operating condition

따른 효율 및 연료소비율의 변화를 나타내었다. 이론공연비 부근에서는 에탄올 또는 수소농후가스를 첨가하더라도 큰 변화가 나타나지 않았다. 그러나 운전영역이 희박연소영역으로 갈수록 효율이 증가하다가 $\lambda=1.3$ 인 조건에서 최대치를 나타낸 후 연소안정성의 악화로 인하여 다시 감소하였다. 에탄올 혼합연료를 사용한 경우 발열량의 감소로 인해 연료소비율은 악화된 반면에, 에탄올의 기화성능이 좋기 때문에 연소속도가 빨라져 가솔린만을 연료로 사용한 경우에 비하여 점화시기가 진각된 것이 효율을 증가시킨 원인으로 판단된다.

수소농후가스를 사용한 경우에도 연소속도의

증가로 인한 연소효율의 증가가 효율의 증가로 나타났으나, $\lambda=1.4$ 이상으로 희박한 영역에서는 에탄올 혼합연료의 경우에 비해 낮은 효율을 나타내었다. 두 가지 연료 모두에 대해서 희박연소 영역은 $\lambda=1.5$ 까지 늘어났으며, 이러한 현상은 기존 가솔린 연료에 비해 높은 연소효율 및 에탄올 연료의 함산소성에 의한 결과로 볼 수 있다.

연료소비율의 경우 제동출력에 대한 연료유량으로 표시되기 때문에 효율과는 반비례하는 경향이 나타나는데, Fig. 5를 살펴보면 에탄올 혼합연료 또는 수소농후가스를 사용한 경우에는 효율이 최대인 $\lambda=1.3$ 에서 최저 연료소모율을 보이고 있다. 이론공연비 부근에서는 혼합된 수소농후가스

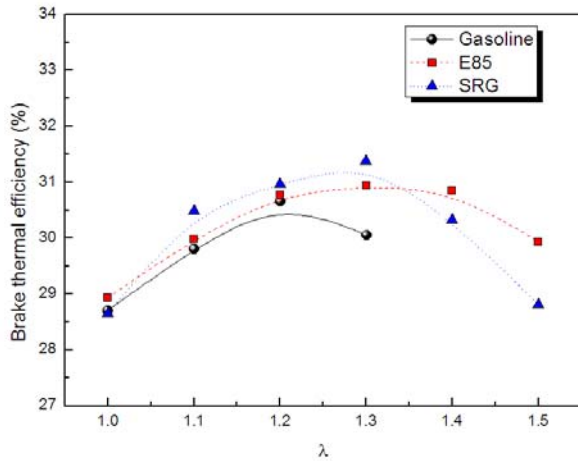


Fig. 4 The influence of air-fuel ratio on brake thermal efficiency at 2,000 rpm BMEP 0.4 MPa operating condition

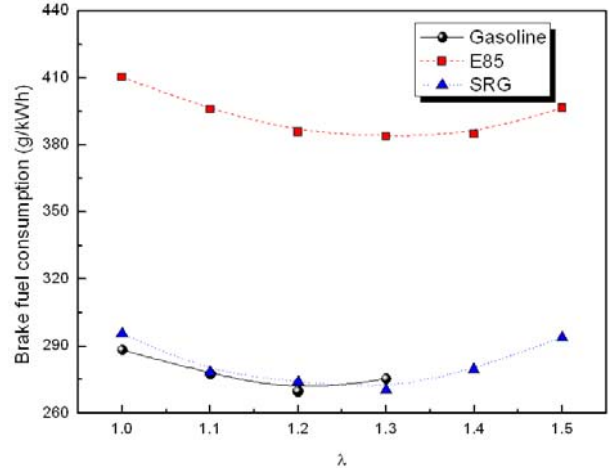


Fig. 5 The influence of air-fuel ratio on brake fuel consumption at 2,000 rpm BMEP 0.4 MPa operating condition

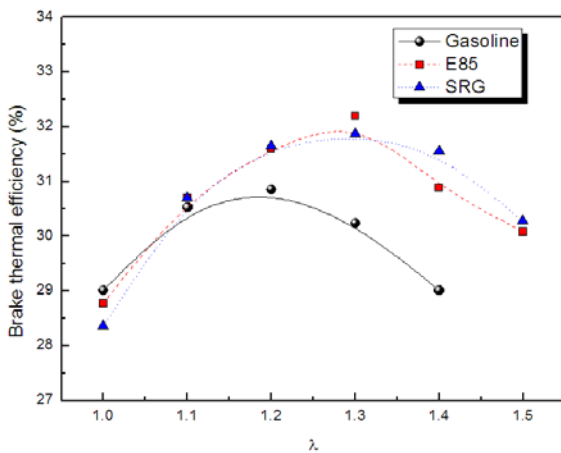


Fig. 6 The influence of air-fuel ratio on brake thermal efficiency at 2,000 rpm BMEP 0.4 MPa operating condition

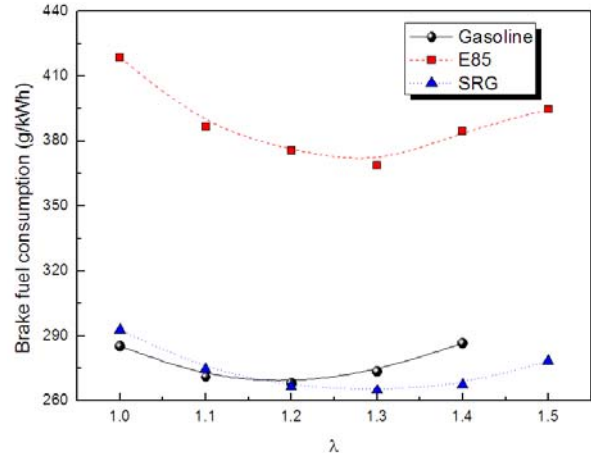


Fig. 7 The influence of air-fuel ratio on brake fuel consumption at 2,000 rpm BMEP 0.4 MPa operating condition

가 소모된 질량에 비하여 효율이 크게 증가하지 못하여 오히려 연료소모율이 악화되는 현상을 나타내었다.

Fig. 6과 Fig. 7은 2,000 rpm BMEP 0.4MPa 조건에서 각 연료에 대하여 공기과잉률의 변화에 따른 효율 및 연료소비율의 변화를 나타낸 것이다. 일반적으로 엔진의 회전수가 증가할수록 마찰로 인한 손실이 증가하기 때문에 효율이 감소하지만, 에탄올 또는 수소농후가스를 첨가한 경우에는 오히려 희박연소영역에서 효율이 크게 증가하였다. 이것은 에탄올 또는 수소농후가스를 첨가한 경우, 연소온도의 감소 및 스토틀 개도의 증가로 인한 펌핑손실의 저감이 효율의 증대로 나타난 것으로 판단된다. 이론공연비 조건에서는 에탄올이나 수소농후가스를 첨가하더라도 완전연소에 필요한 공기의 양이 충분하지 않아 효율이 감소하고 연료소모율은 증가하는 결과를 보였다.

각각의 운전조건에서 에탄올 혼합연료를 사용한 경우에 비해 첨가된 수소농후가스의 비율이 기존 가솔린 연료에 비해 그다지 높지 않고, 가스 내에 포함된 CO₂ 및 N₂와 같은 불연성 가스에 의해 희석효과가 증대되었기 때문으로 보인다. 100% 수소를 사용한 경우 대비 CO의 낮은 가연성도 열효율 및 희박연소영역 확장을 저하시키는 원인으로 예상된다.

효율에 영향을 미칠 수 있는 원인 중의 하나로 연소온도가 고려될 수 있다. Fig. 8과 Fig. 9는 각 운전조건에 대하여 엔진의 배기가스온도를 나타

낸 것이다. 에탄올이 완전연소가 일어나게 될 경우 동일한 산소량 대비 가솔린 완전연소에 비해서, 약 30% 정도 많은 양의 물이 발생하게 되고 이것은 배기 배출물의 열용량 증대를 가져오게 된다. 이러한 현상은 가솔린 대비 낮은 연소온도의 결과를 나타내며 배기가스온도가 그 영향을 보여주고 있음을 알 수 있다. 운전조건에 관계없이 에탄올 혼합연료를 사용한 경우 기존 가솔린에 비해 낮은 배기가스 온도를 보이고 있다.

수소농후가스를 첨가한 경우 가스 내의 CO₂ 및 N₂의 열용량 증대로 인한 냉각 및 희석효과로 인하여 낮은 배기가스 온도를 나타내지만, 가솔린 연료대비 비율이 높지 않기 때문에 온도가 크게 저하되지는 않았다. 1,500 rpm BMEP 0.4 MPa 운전조건에서 연소한계에 해당하는 $\lambda=1.3$ 인 경우, 가솔린 연료만을 사용한 경우에 오히려 배기가스온도가 가장 낮게 나타났는데 이것은 간헐적으로 나타나는 실화에 의한 영향으로 보인다. 이러한 연소온도의 감소는 연소실내의 열손실의 감소를 가져오게 되고, 열효율의 증대에 영향을 준 것으로 보인다.

3.2 연소안정성

연소영역이 희박한 영역으로 갈수록 잉여 산소의 활용 및 펌핑손실의 감소로 인한 효율의 증대를 기대할 수 있으나, 연소가 불안해지기 때문에 연료소모율이 증가하고 효율이 다시 감소하게 된다. 운전조건 및 연료의 변화에 따른 연소안정성

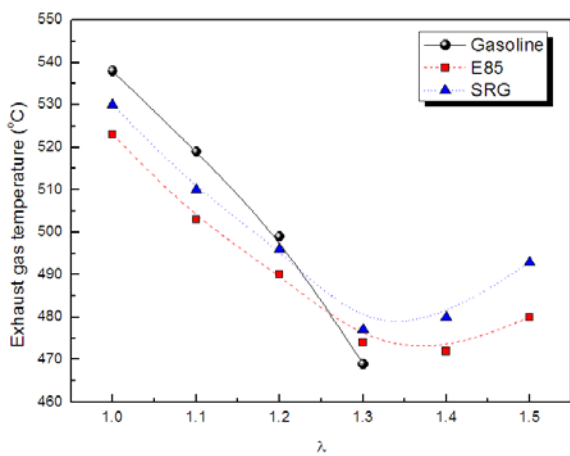


Fig. 8 The influence of air-fuel ratio on exhaust gas temperature at 1,500 rpm BMEP 0.4 MPa operating condition

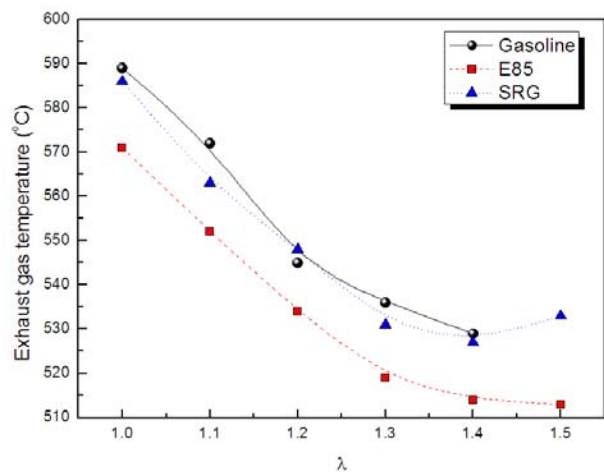


Fig. 9 The influence of air-fuel ratio on exhaust gas temperature at 2,000 rpm BMEP 0.4 MPa operating condition

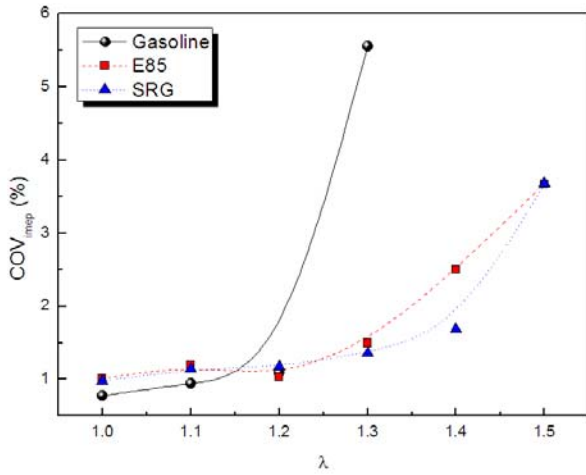


Fig. 10 The influence of air-fuel ratio on combustion stability at 1,500 rpm BMEP 0.4 MPa operating condition

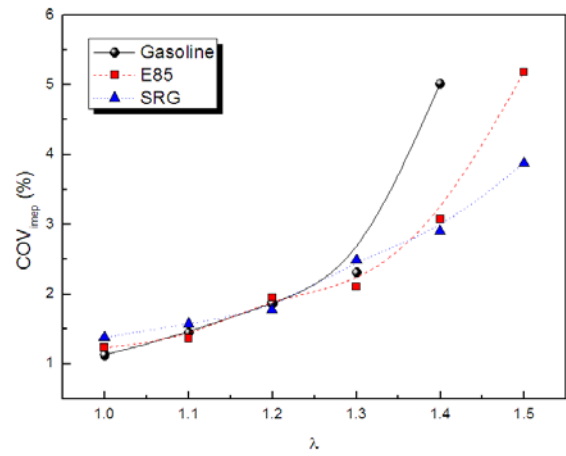


Fig. 11 The influence of air-fuel ratio on combustion stability at 2,000 rpm BMEP 0.4 MPa operating condition

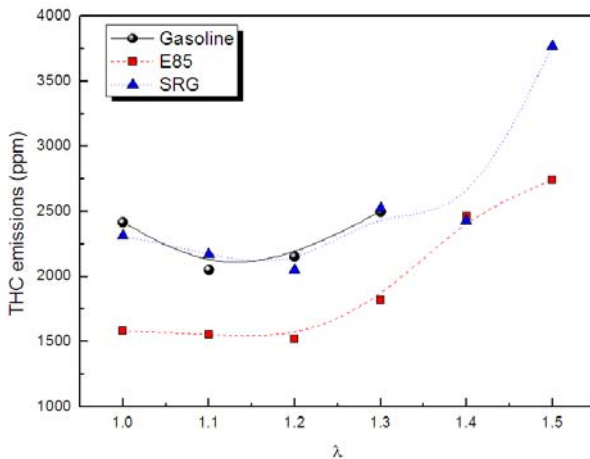


Fig. 12 The influence of air-fuel ratio on HC emission at 1,500 rpm BMEP 0.4 MPa operating condition

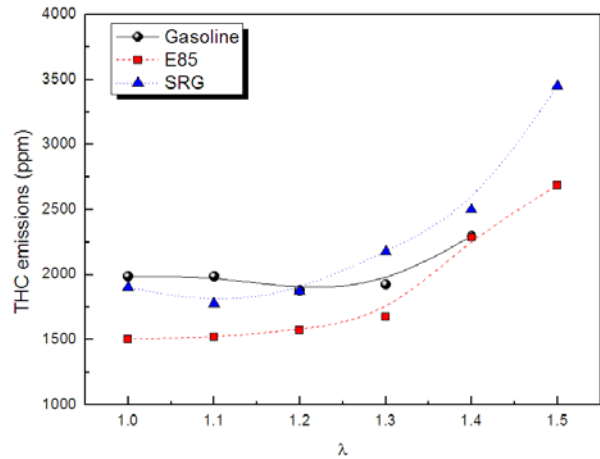


Fig. 13 The influence of air-fuel ratio on HC emission at 2,000 rpm BMEP 0.4 MPa operating condition

의 변화를 Fig. 10과 Fig. 11에 나타내었다. 상대적으로 낮은 회전수인 1,500 rpm, λ=1.3 조건에서는 에탄올 혼합연료 및 수소농후가스의 영향으로, 가솔린 연료로 운전 시 5.56%의 COV_{imep} 값이 각각 1.4%와 1.5%로 감소되었다.

엔진의 회전수에 관계없이 에탄올 또는 수소농후가스가 첨가된 경우 λ=1.4인 조건에서도 COV_{imep}가 최대 3% 수준의 안정된 연소를 보이지만, 효율과 연료소비율의 경향을 보았을 때 λ=1.3이 최적의 연소조건임을 알 수 있다. 일반적으로 공기과잉률이 어느 한계 이상이 되면 연소실내 회박영역의 증가로 인해 점화시기의 조절만으로는 안정적인 연소를 꾀할 수 없다. 따라서

점화장치 및 포트형상 등의 개선을 통해서 추가적인 회박연소영역의 확장이 가능해진다.

3.3 배출가스 특성

일반적으로 공기과잉률이 증가하게 되면, 이론공연비에 비해 약간 희박한 영역에서 HC의 배출은 최저를 나타내고 NO_x의 배출은 최대가 된다. Fig. 12와 Fig. 13에 각각의 운전조건에서 공기과잉률의 변화에 따른 HC의 배기성능을 나타내었다.

λ<1.2인 영역에서는 공기과잉률이 높아질수록 HC의 산화를 위한 산소의 증가로 감소하다가, λ=1.3 이상이 되면 연소온도의 저하로 에탄올이나 수

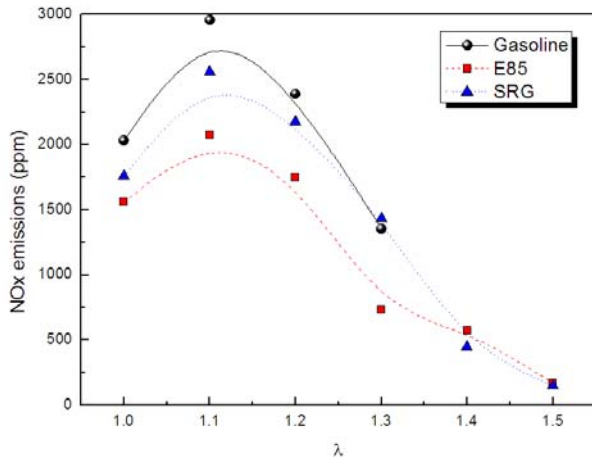


Fig. 14 The influence of air-fuel ratio on NOx emission at 1,500 rpm BMEP 0.4 MPa operating condition

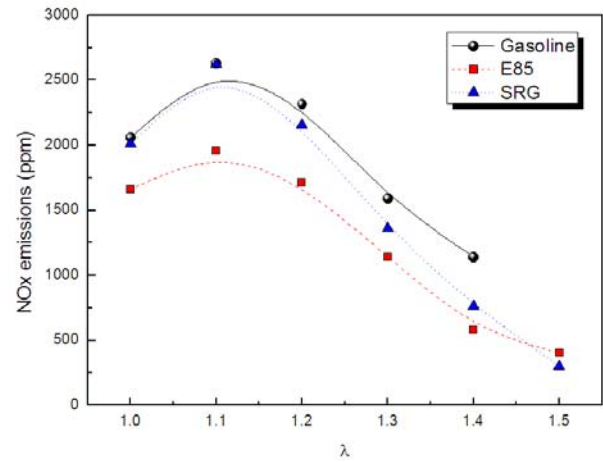


Fig. 15 The influence of air-fuel ratio on NOx emission at 2,000 rpm BMEP 0.4 MPa operating condition

소농후가스가 첨가되더라도 HC의 배출이 증가하는 경향을 나타낸다. 에탄올 혼합연료를 사용한 경우 에탄올 연료의 함산소성으로 인하여 다른 연료에 비해 전체적으로 HC의 배출이 감소하였다.

NOx의 배출은 연소온도의 지속시간 및 산소의 이용성에 크게 의존하는 것으로 알려져 있다.⁽¹⁰⁾ Fig. 14와 Fig. 15에 나타난 것과 같이 혼합기가 희박하게 되면 산소의 이용성이 증대되어, 연소실내 최고 온도가 높고 여분의 산소도 충분한 $\lambda = 1.1$ 부근에서 NOx의 배출이 최대가 된다. 그러나 그 이상 희박하게 되면 연소 속도가 저하하게 되어 다시 NOx의 배출이 감소한다.

에탄올의 경우 가솔린에 비해 증발 잠열이 높기 때문에, 혼합기의 온도가 감소하여 연소온도를 떨어뜨린 것이 NOx 배출을 감소시킨 원인으로 작용한 것으로 판단된다. 일반적으로 수소가 첨가될 경우 높은 연소온도로 인하여 NOx의 배출이 증가하게 되는데, 수소농후가스의 경우 CO₂ 및 N₂가 포함되어 있기 때문에 EGR을 적용한 것과 같은 효과를 기대할 수 있다. 특히, 희박연소 영역에서의 연소온도의 감소는 thermal NOx의 배출을 억제하는 데 큰 영향을 미치는 것으로 알려져 있다.⁽¹¹⁾ 에탄올 또는 수소농후가스의 첨가로 인하여 최대 30%의 NOx의 배출이 저감되었다.

4. 결론

본 연구에서는 가솔린엔진을 대상으로 에탄올

연료 또는 수소농후가스를 첨가하여 시험한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 에탄올 또는 수소농후가스를 첨가한 경우 운전영역이 희박연소영역으로 갈수록 효율이 증가하다가 $\lambda = 1.3$ 인 조건에서 최대치를 나타낸 후 연소안정성의 악화로 인하여 다시 감소하였다. 이때 희박연소영역은 $\lambda = 1.5$ 까지 늘어났으며, 이러한 현상은 기존 가솔린 연료에 비해 높은 연소 효율 및 에탄올연료의 함산소성에 의한 결과로 볼 수 있다.

(2) 엔진의 회전수가 증가하더라도 마찰손실의 증가에 의한 영향보다, 연소온도의 감소 및 스로틀 개도의 증가로 인한 펌핑손실의 저감의 영향이 효율의 증가에 큰 영향을 미친 것으로 판단된다.

(3) 혼합연료의 사용으로 인한 연소온도의 감소 및 점화시기의 진각이 연소실내의 열손실의 감소를 가져오게 되고, 열효율의 증대에 영향을 준 것으로 보인다.

(4) 엔진의 회전수에 관계없이 에탄올 또는 수소농후가스가 첨가된 경우 $\lambda = 1.4$ 인 조건에서도 COV_{imep}가 최대 3% 수준의 안정된 연소를 보이지만, 효율과 연료소비율의 경향을 보았을 때 $\lambda = 1.3$ 이 최적의 연소조건임을 알 수 있다.

(5) 공기과잉률이 높아질수록 HC의 산화를 위한 산소의 증가로 감소하다가, $\lambda = 1.3$ 이상이 되면 연소온도의 저하로 에탄올이나 수소농후가스가 첨가되더라도 HC의 배출이 증가하였고, 에탄올 혼합연료를 사용한 경우에는 에탄올 연료의

함산소성으로 인하여 다른 연료에 비해 전체적으로 HC의 배출이 감소하였다.

(6) 에탄올 연료의 높은 증발잠열 및 수소농후 가스의 희석효과로 인해 동일한 운전조건에서 최대 30%의 NO_x의 배출이 저감되었다.

참고문헌

- (1) Cho, J.M. and Lee, C.S., 2003, "Emission Characteristics of a Gasoline Engine Using Ethanol Blended Fuel," *Fall Conference of KSAE*, pp. 458~463.
- (2) Al-Hasan, M., 2003, "Effect of Ethanol-Unleaded Gasoline Blends on Engine Performance and Exhaust Emission," *Energy Conversion Management*, Vol. 44, pp. 1547~1561.
- (3) Al-Farayedhi, A.A., Al-Dawood, A.M. and Gandhidasan, P., 2004, "Experimental Investigation of SI Engine Performance Using Oxygenated Fuel," *Transaction of the ASME*, Vol. 126, pp. 178~191.
- (4) Pouloupoulos, S.G. and Philippopoulos, C.J., 2003, "The Effect of Adding Oxygenated Compounds to Gasoline on Automotive Exhaust Emissions," *Transaction of the ASME*, Vol. 125, pp. 344~350.
- (5) Changsuk Yang, 1998, "Effect of the Ethanol/Gasoline Blends Fuel on the Performance of the Spark Ignition Engine," *University of Changwon*, pp. 16~22.
- (6) The Center of Transport Research Energy System Division, 1998, "Guidebook for Handling, Storing & Dispensing Fuel Ethanol," *Argonne National Laboratory*, p. 8.
- (7) Keonsik Yoon and Daeogon Park, 2001, "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.
- (8) John, E.K., Ather, A.Q. and Grieve, M.J., 1999, "Advanced Engine Management Using on-Board Gasoline Partial Oxidation Reforming for Meeting Super-ULEV(SULEV) Emission Standards," *SAE technical paper*, SAE 1999-01-2927.
- (9) Kristine, D.I., Jan, R.I. and Peter, J.L., 1998, "Using on-Board Fuel Reforming by Partial Oxidation To Improve SI Engine Cold-Start Performance and Emissions," *SAE technical paper*, SAE 980939.
- (10) Per, T., Magnus, C., Patrik, E., Tobias, A. and Bengt, J., 2002, "Hydrogen Addition for Improved Lean Burn Capability of Slow and Fast Burning Natural Gas Combustion Chambers," *SAE technical paper*, SAE 2002-01-2686.
- (11) Ziga, I., Ferran, A., Joshua, G. and John, B.H., 2005, "Effects of Hydrogen Enrichment on Efficiency and NO_x Emissions of Lean and EGR-Diluted Mixtures in a SI Engine," *SAE technical paper*, SAE 2005-01-0253.