

에탄올 혼합율이 엔진성능에 미치는 영향

박권하† · 박홍일*

(원고접수일 : 2008년 2월 20일, 원고수정일 : 2008년 4월 30일, 심사완료일 : 2008년 5월 14일)

The Effect of Ethanol Mixing Rate on Engine Performance

Kweon-Ha Park† · Hong-Il Park*

Abstract : A rapid growth of automobile industry has become a major cause for the environmental pollution of big cities, which has driven the emission regulation into extreme. The study of alternative fuel is one of the many researches for improving car emissions.

In this study, the effect of an ethanol mixing rate on the engine performance of exhaust emissions, fuel consumption and a maximum torque is assessed for a gasoline engine without any retrofit.

The result shows that maximum torque is not reduced in the range of ethanol mixing rate of 10 to 15%. CO and NOx is reduced with the increase of ethanol mixing rate and the fuel consumption remains in similar level.

Key words : Ethanol(에탄올), Engine performance(엔진성능), Exhaust emission(배출가스)

1. 서 론

급격한 공업화와 자동차 산업의 발달로 인한 자동차사용의 증가는 대기환경오염의 주원인이 되고 있으며, 특히, 대도시와 그 주변의 대기오염에 심각한 영향을 미치고 있다. 이러한 대기오염의 방지를 위하여 자동차배기규제가 엄격하게 되었으며 관련기술들이 개발되고 있다. 대체연료는 에너지 절약과 에너지원의 다변화 및 청정에너지기술로서 연구개발되고 있다^[1]. 대체연료로 사용되거나 개발 중인 연료는 메탄올, 천연가스, 수소, 에탄올 등이 있으며 이중 에탄올 연료는 기존 사용되는

내연기관의 구조를 크게 변형시키지 않고도 사용이 가능하고 경제성 있는 기술로서, 가솔린에 에탄올을 혼합한 기술은 기관의 압축압력, 연료 절약, 연소특성의 개선과 유해배출가스 저감 등을 목표로 연구가 활발하게 진행되고 있다^{[6]~[10]}. 가솔은 미국에서 상품명(trade name)으로 등록된 용어로 무연휘발유 90%, 연료용 무수 알콜(power alcohol) 10%의 혼합연료를 말하며 많은 연구가 진행되었다^{[2]~[6]}. 연료용 에탄올은 생물자원(biomass)인 농산물(옥수수, 사탕수수, 감자 등)로부터 추출되는 재생 가능한 연료(renewable energy)로서, MTBE(Methyl

† 교신저자(한국해양대학교 기계정보공학부, E-mail: khpark@hhu.ac.kr, Tel: 051)410-4367)

* 한국해양대학교 대학원

Tertiary Butyl Ether) 등 기존의 합산소 연료에 비해 환경오염방지 및 옥탄가 향상효과가 우월하여 세계적으로 많이 사용되고 있다. 휘발유의 옥탄가 향상 및 산소함량 증가용 첨가제로 많이 이용되는 MTBE에 의한 지하수 오염 문제가 대두되고 있는데 국내외를 막론하고 MTBE를 포함한 휘발유의 사용이 많은 곳에서는 대기, 물, 토양 및 지하수가 MTBE에 의하여 광범위하게 오염된 것으로 추정하고 있다. 미국에서는 MTBE 연료를 에탄올로 전환중이다. 이와 같이 미국 내에서 MTBE 사용량이 줄어들고 있음에도 불구하고 미국 지하수의 약 8%에서 MTBE가 검출되었다. 우리나라에서는 아직 관심의 대상이 되지 못하는 현실이 안타까운 실정이다. MTBE는 1979년부터 무연휘발유의 옥탄가 향상제로 사용되었으나, 1990년 휘발유내의 산소의 함량을 중량비로 최소 2.7%로 유지하게 한 미국의 Clean Air Act 수정안에 일산화탄소 오염이 심각한 지역에 대해 휘발유의 완전산화를 보조하는 산소첨가제로 사용되기 시작하였다. 산소첨가휘발유(Oxyfuels)의 MTBE의 평균 부피 비는 3.4%로 지역별 및 계절별로 함량이 조금씩 변화하며, 한대지역에서는 부피 비로는 최고 15%까지 첨가되고 있다. 이외에도, 1994년부터는 오존을 유발하는 물질인 벤젠, butadien, form aldehyde, acetaldehyde 등과 같은 유독한 휘발성 유기물질(VOCs)을 제어하기 위한 재합성 휘발유(reformulated gasoline) 프로그램이 시작되어 평시에도 휘발유 내 MTBE를 11%까지 첨가하게 되었다. 우리나라의 경우도, 1993년 환경보전법에 의하여 MTBE의 휘발유 배합이 의무화되었으며, 국내의 휘발유도 MTBE 함량이 6~8%정도이다. 이처럼 국내외를 막론하고 MTBE의 사용이 초기에는 대기오염물질의 저감으로 인식되었던 것이 지금은 MTBE에 의한 지하수의 광범위한 오염으로 인해 인체에 미칠 영향에 대한 연구가 매우 중요하게 대두되었고 이에 대한 적절한 독성 규제 권고안이 마련되고 있다. 미국 알래스카 주의 Fairbanks와 Anchorage 등에서 MTBE를

포함한 휘발유의 시판과 관련하여 두통, 현기증이 보고되었고, 인체에 대한 가장 중요한 MTBE의 독성은 발암성인데 쥐를 이용한 동물실험에서 고농도(3,000~8,000ppm)의 MTBE를 음식물과 증기로 1년 이상 주입시킨 결과, 발암의 빈도가 증가되는 것이 확인되기도 하였다. 휘발유 첨가제인 MTBE의 문제점과 대안으로 에탄올을 첨가한 연료에 대한 적극적인 연구의 필요성이 대두되고 있다⁽⁷⁾⁻⁽¹¹⁾.

본 논문에서는 에탄올 혼합율에 따른 가솔린 기관의 엔진 성능과 배기 특성을 실험 분석하고자한다.

2. 실험장치 및 조건

실험장치는 Fig. 1과 같이 실험엔진, 동력계, 연료 소비량 측정장치, 배기가스 분석장치로 구성된다. 실험엔진은 직렬 4기통 최대출력 102ps/5800rpm, 최대토크 13.6kg·m/3000rpm이며 상세 제원은 Table 1과 같다. 배기 배출물의 특성을 비교분석하기 위하여 삼원촉매장치를 제거하였으며, 이에 따른 배기압력의 감소로 엔진의 표준제원이 변경될 수 있다. 동력계는 최대 230마력이며, 배기가스 측정기는 Testo350으로 내부의 전자화학 셀에 의한 흡입공기의 화학 전위차와 화학반응의 원리에 의해 측정한다. Table 2는 실험조건을 나타낸다. 엔진 속도를 1000rpm에서 3000rpm까지 변화시키면서 토크가 3kg·m에서 최대까지 5단계로 구분하였으며 에탄올 0%에서 최대 85%까지 적용하였다.

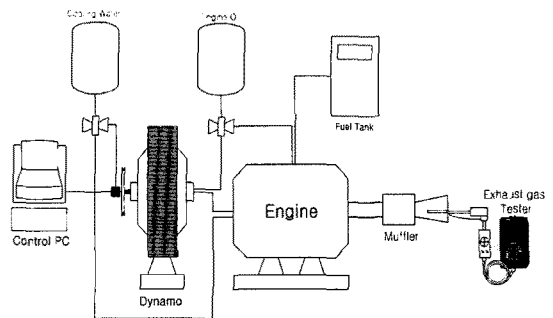


Fig. 1 Experimental setup for engine test

Table 1 Specification of test engine

Items	Specification
Eng type	Inline DOHC
Number of Cyl	4
Bore(mm)	75.5
Stroke(mm)	83.5
Disp. volume(cc)	1495
Comp. ratio	9.5
Max. power (ps/rpm)	102/5,800
Max. torque (kg · m/rpm)	13.6/3,000

Table 2 Test condition

Engine speed(rpm)	Torque (kg · m)	Ethanol percentage(wt%)
1000	3,6,9,12,Max	0 - 85
1500		
2000		
2500		
3000		

3. 실험결과 및 고찰

Fig. 2는 에탄올 혼합물이 0에서 20%일 때의 엔진속도에 따른 토크변화를 나타낸다. 최대토크의 변화는 1000rpm에서 1500rpm으로 엔진속도가 증가할 때 급격히 증가하며 이후 증가량이 둔감 된다. 5% 혼합한 경우는 에탄올을 혼합하지 않은 0%와 거의 같은 값을 나타낸다. 10%의 경우 1000rpm에서 낮아지지만 1500rpm과 2500rpm에서는 에탄올 혼합이 없는 기준 값 보다 상당히 높은 값을 나타낸다. 15%인 경우는 5%인 경우와 같이 유사한 값을 나타내며 20%인 경우는 상당히 낮은 토크값을 나타낸다. Fig. 3은 에탄올 혼합물이 85%까지 증가될 때의 최대토크의 변화특성을 보여 준다. 에탄올 혼합물이 15% 이내인 엔진속도에 따라 약간의 변화는 있지만, 에탄올혼합이 없는 경우와 유사한 최대토크값을 나타낸다. 20% 이상에서는 혼합물의 증가에 따라 토크가 점점 낮아짐을 알 수 있다. 이는 합산소연료의 연소 활성화와

발열량이 낮은 에탄올 첨가의 복합적인 작용으로 생각된다. 15%까지의 에탄올 혼합의 경우에는 에탄올 혼합에 의한 발열량의 저하의 영향보다 연료 중에 산소를 함유한 에탄올의 연소 활성화에 의한 연소효율의 증가 영향이 큰 것으로 판단되며, 20% 이상의 혼합물의 경우 발열량의 감소에 의하여 토크가 감소된 것으로 판단된다. 최대토크가 엔진의 체원에 나타나있는 13.6kg · m/3000rpm보다 높은 15정도까지 올라가는데 이는 배기측정을 위하여 촉매장치를 제거함으로써 배기압력이 낮아지기 때문으로 생각된다.

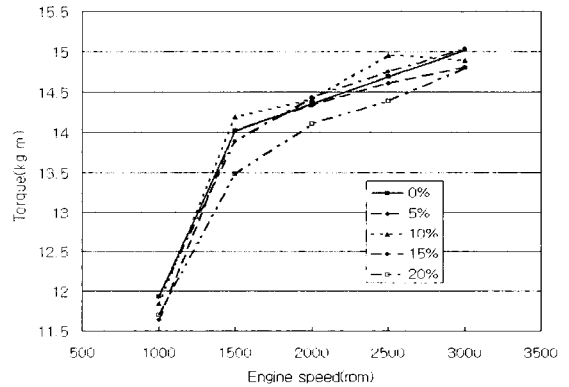


Fig. 2 Torque variation with engine speed increase

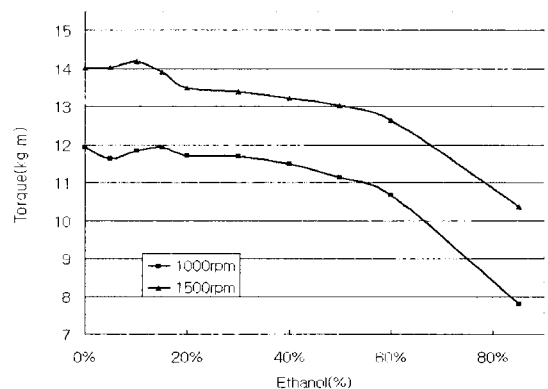


Fig. 3 Torque variation with ethanol mixing percentage

Figs 4-8은 엔진속도가 1000-3000rpm일 때의 에탄올 혼합물에 따른 일산화탄소 배출특성을 나타낸다. 고rpm에서 농도가 증가되는 경향을 나타내

지만 전반적으로 400에서 800ppm을 유지한다. 1000rpm인 경우 에탄올 혼합율이 10%이면 모든 토크에서 CO 배출농도가 매우 낮아지며 20%에서는 에탄올 혼합이 없는 기준 값보다 오히려 증가된다. 30%에서는 혼돈된 경향을 나타내며 40%에서는 감소한다. 1500에서 3000rpm까지 전반적인 경향은 1000rpm과 유사하게 10%혼합에서는 낮아지고 20%와 30%에서는 혼돈되고 40%에서 크게 낮아진다. 즉, 혼합율에 따라 변동은 있지만 에탄올 혼합율의 증가는 전반적으로 일산화탄소의 배출농도를 저감시키는 경향이 있다.

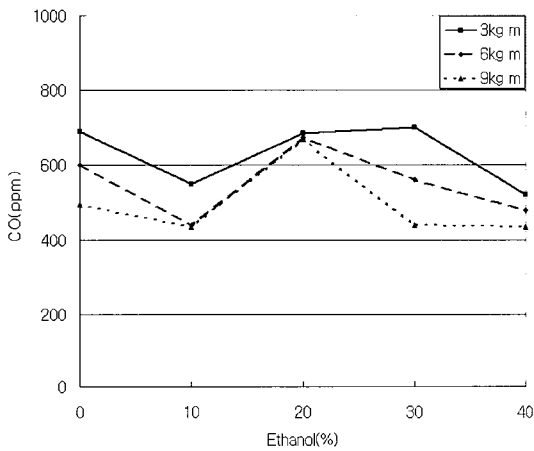


Fig. 4 CO variation with ethanol mixing percentage at 1000rpm

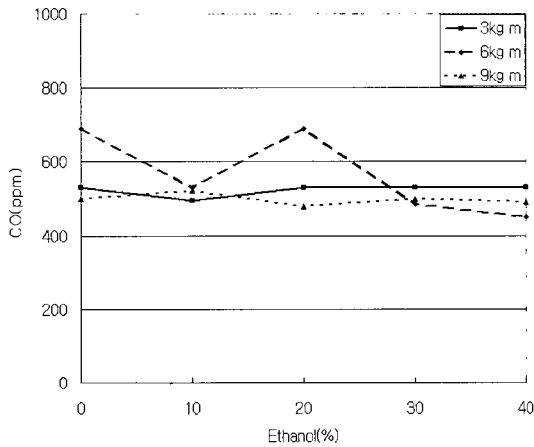


Fig. 5 CO variation with ethanol mixing percentage at 1500rpm

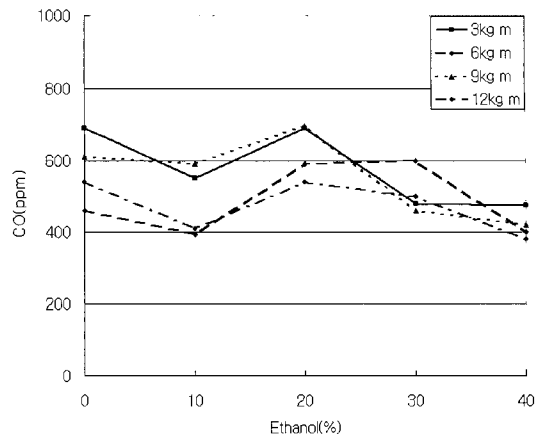


Fig. 6 CO variation with ethanol mixing percentage at 2000rpm

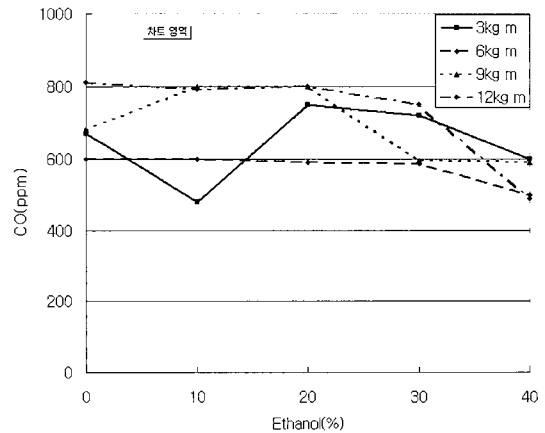


Fig. 7 CO variation with ethanol mixing percentage at 2500rpm

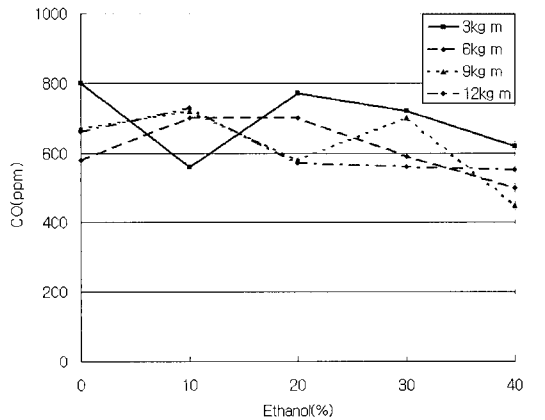


Fig. 8 CO variation with ethanol mixing percentage at 3000rpm

Fig. 9~13은 엔진속도가 1000~3000rpm일 때의 에탄올 혼합율에 따른 질소산화물 배출특성을 나타낸다. 1000rpm의 경우 10%혼합에서 약간 감소하며 20%에서 약간 증가하여 30-40%에서 그 값을 유지한다. 1500, 2000rpm에서는 20%일 때 다소 많은 증가를 보이며 2500rpm에서는 20-30%에서 많은 증가를 나타낸다. 엔진속도와 혼합율에 따라 변화되지만, 저토크 영역을 제외하면 전반적으로 에탄올을 혼합할 때에 에탄올을 혼합하지 않은 경우에 비하여 질소산화물의 배출이 증가된다.

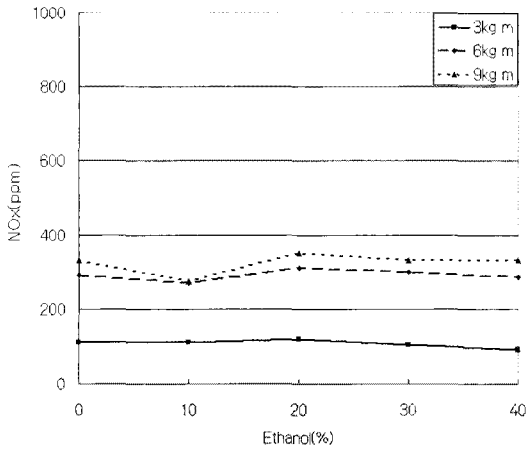


Fig. 9 NOx variation with ethanol mixing percentage at 1000rpm

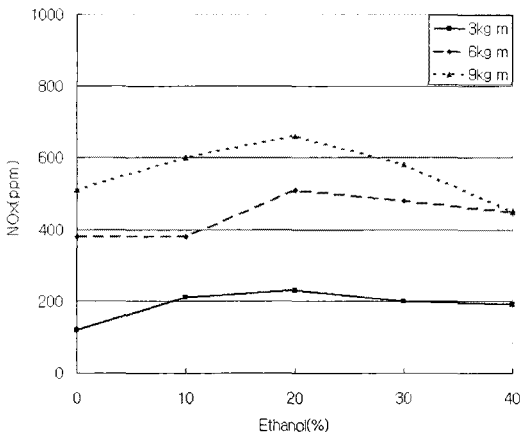


Fig. 10 NOx variation with ethanol mixing percentage at 1500rpm

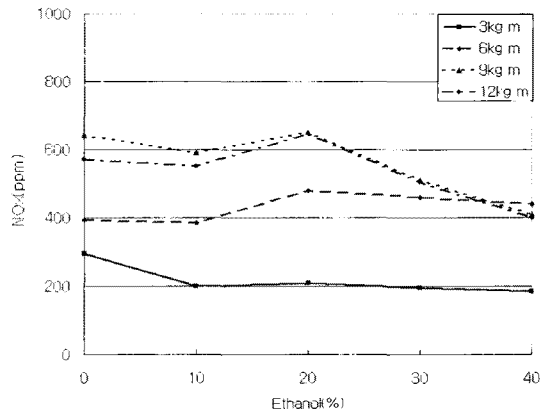


Fig. 11 NOx variation with ethanol mixing percentage at 2000rpm

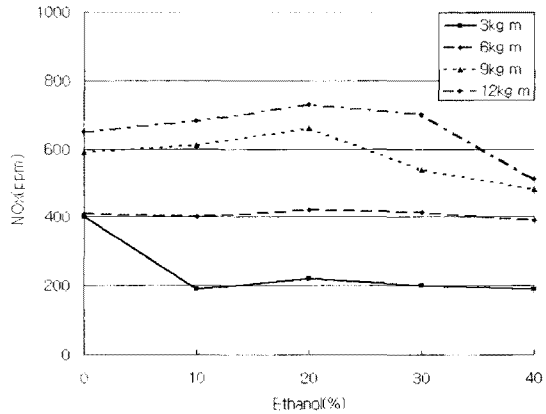


Fig. 12 NOx variation with ethanol mixing percentage at 2500rpm

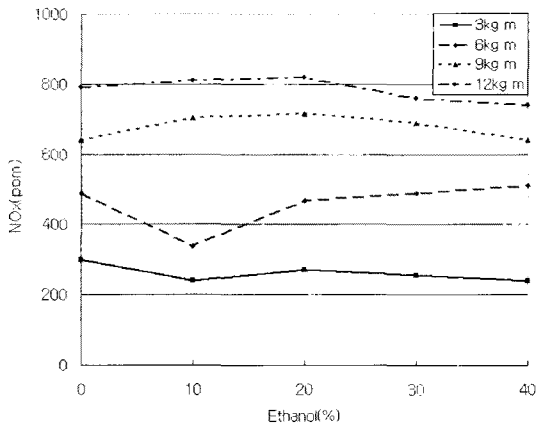


Fig. 13 NOx variation with ethanol mixing percentage at 3000rpm

Fig. 14~18은 엔진속도가 1000-3000rpm일 때의 에탄올 혼합율에 따른 연료소모량을 나타낸다. 1000rpm의 경우 에탄올이 10%혼합되면 연료소모량이 감소되고 20%가 되면 10%와 유사한 값을 갖으며 30%-40%에서는 약간 증가되지만 에탄올혼합이 없는 경우보다는 낮은 값을 나타낸다. 1500rpm은 저토크영역에서는 1000rpm과 유사하지만 고토크에서는 에탄올 20%이상에서 증가되는 경향을 나타낸다. 2000-3000rpm에서는 10%까지는 큰 변화가 없지만 20% 이상에서는 점차적으로 증가하는 경향을 나타낸다. 3000rpm에서는 혼합율에 관계없이 에탄올 혼합이 없는 경우와 거의 유사한 값을 갖는다. 전반적으로 20%이내의 혼합율에서는 에탄올혼합이 없는 기준 값과 유사하며 30%이후에는 연료소모량이 증가된다.

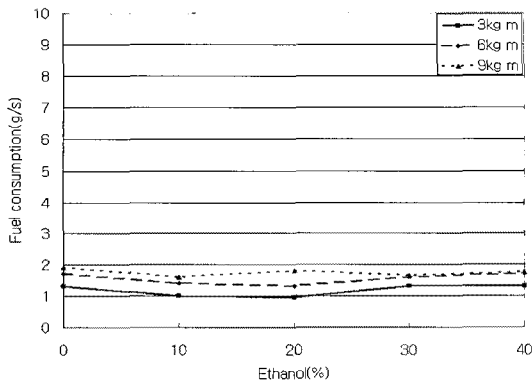


Fig. 14 Fuel consumption variation with ethanol mixing percentage at 1000rpm

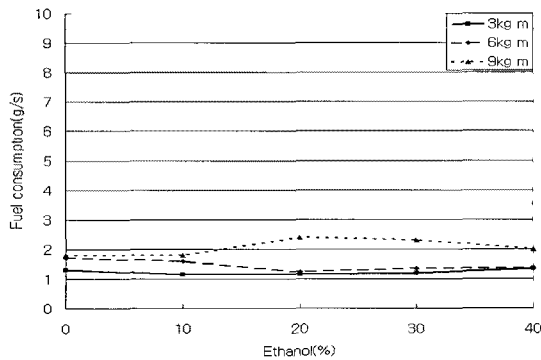


Fig. 15 Fuel consumption variation with ethanol mixing percentage at 1500rpm

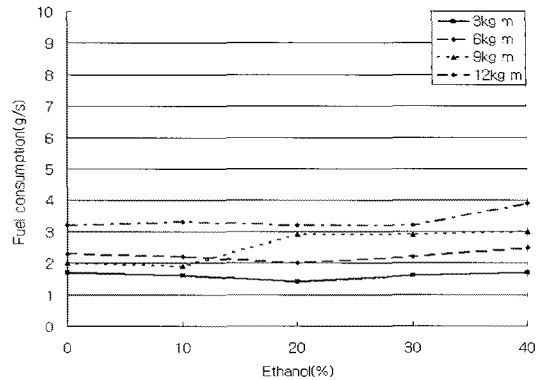


Fig. 16 Fuel consumption variation with ethanol mixing percentage at 2000rpm

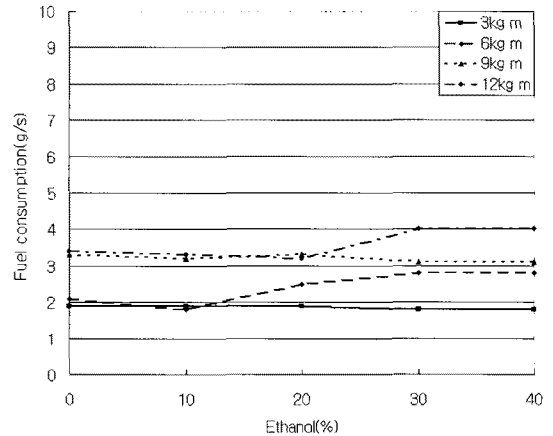


Fig. 17 Fuel consumption variation with ethanol mixing percentage at 2500rpm

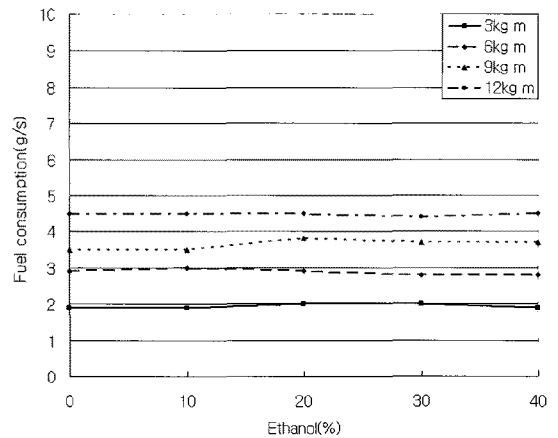


Fig. 18 Fuel consumption variation with ethanol mixing percentage at 3000rpm

4. 결 론

에탄올 혼합율이 엔진성능과 배기배출에 미치는 영향을 고찰한 내용을 요약하면 다음과 같다.

(1) 에탄올 혼합율이 15% 이내인 경우에는 엔진의 최대토크가 혼합이 없는 경우와 유사한 값을 유지하며 20% 이상의 경우는 혼합율과 함께 크게 감소된다.

(2) 일산화탄소의 배출농도는 에탄올 혼합과 함께 전반적으로 감소된다.

(3) 질소산화물의 배출농도는 에탄올 혼합과 함께 전반적으로 증가된다.

(4) 연료소모량은 에탄올 혼합율 20%이내에서는 혼합율 0%와 유사한 값을 유지하지만 이후는 혼합율의 증가와 함께 증가된다.

참고문헌

[1] 조경국, “자동차연료로서 알콜연료의 기술적 검토”, 한국자동차공학회지, Vol.6, No.2, pp.27-30, 1984.

[2] 한영출, “세계의 에너지현황, 신 연료의 개발 및 에너지 절약기관에 대하여”, 한국자동차공학회지, Vol.6, No.3, 1984.

[3] Frank Black, “An Overview of the Technical Implication of Methanol and Ethanol as High Motor Vehicle Fuels”, SAE paper No. 912413, 1991.

[4] Kenji Katoth, Yoshihikko Imamura, Tokuta Inoue, “Development of Methanol Lean Brun System”, SAE No.860247, 1986.

[5] 장병주, “대체연료로서의 메탄올”, 한국자동차공학회지, Vol.6, No. 1, pp.11-20, 1984.

[6] 안순혁, 윤면근, 박세영, 조성철, 류정인, “가솔린-메탄올 혼합연료의 분무특성에 관한연구”, 한국자동차공학회논문집, pp.184-189, 1999.

[7] 조용우, 김경원, 나상천, 나상천, “휘발유 배합제로서의 MTBE”, 한국자동차공학회지, Vol.13, No.1, pp. 25-34, 1991.

[8] 박권하, 정용일, 김정흠, “저공해 연료의 개발현황과 환경오염에 미치는 영향에 관한 연구-합산소연료 및 개질연료에 관하여-”, 자동차공학회지, Vol.17, No.4, pp14-20, 1995.

[9] U.S. EPA report, “Replacing Gasoline: Alternative Fuels for Light Duty Vehicles”, PB91-104901, 1990.

[10] U.S. EPA report, “Analysis of the Economic and Environmental Effects of Ethanol as an Automotive Fuel”, PB90-222522, 1990.

[11] 김창호, “저공해 엔진 기술의 현황 및 방향”, 한국자동차공학회지, Vol. 13, No. 3, pp. 68-75, 1991.

저 자 소 개



박권하(朴權夏)

1995년 UMIST(맨체스터대학) 대학원 기계공학과 졸업(박사), 1995-1998년 한국기계연구원 엔진환경연구부 선임연구원, 1998-현재 한국해양대학교 부교수, 내연기관 연구



박홍일(朴洪鎔)

2004년 한국해양대학교 대학원 졸업(석사), 현재 동 대학원 박사과정, 현재 롯데자동차직업전문학교 교장