

에탄올을 혼합한 디젤기관의 성능과 배기특성에 관한 실험적 연구

박준영¹ · 한성빈^{2†} · 정연중³

¹신안산대학교 기계설계과, ²인덕대학교 기계자동차학과,
³동국대학교 경주캠퍼스 기계부품시스템공학과

An Experimental Study on the Performance and Emission Characteristics of Diesel Engine Fuelled with a Blend of Ethanol

JUN YOUNG PARK¹, SUNG BIN HAN^{2†}, YON JONG CHUNG³

¹Shin Ansan University Department of Machine Design 135 Sinansandaehak-ro,
Danwon-gu, Ansan-si, Gyeonggi-do, 15435, Korea.

²Induk University Department of Mechanical & Automotive Engineering 12 Choansan-ro,
Nowon-gu, Seoul, 01878, Korea

³Dongguk University Gyeongju Campus, Department of Mechanical Parts System Engineering 123 Dongdae-ro,
Gyeongju-si, Gyeongsangbuk-do, 38066, Korea

Abstract >> Alcohols are particularly attractive as alternative fuels because they are a renewable resource. This paper describes the performance and emission characteristics of ethanol and diesel blended fuels in a compression ignition engine. This experimental results showed that ethanol diesel blended fuels decreased the torque and brake mean effective pressure. And experimental results indicated that using ethanol-diesel blended fuel, smoke, CO and HC emissions decreased as a result of the ethanol addition.

Key words : Ethanol(에탄올), diesel fuel(디젤연료), BMEP(Brake mean effective pressure, 제동평균유효 압력), smoke(스모크), CO(일산화탄소), HC(탄화수소)

1. 서 론

화석 연료의 고갈에 대한 문제는 어제 오늘의 문제가 아니다, 2030년에는 화석연료는 살아진다는 연구도 있지만, 예기치 못한 곳에서 화석연료는 계속 발견되고 있다. 화석연료의 고갈 보다 더 두려움 문제는 화석 연료에서 나오는 배기가스가 더욱 삶의

질을 악화시키고 있다.

현재 자동차로부터 배출되는 대기오염문제를 해결하기 위한 연구가 많이 진행되어 왔다. 수소, 천연가스 및 전기자동차, 하이브리드 자동차 등등 연구가 활발하다.

어느 연구자는 왜 새삼스럽게 알콜 연구를 다시 해야 하는가 하는 의문을 갖기도 하겠지만, 2000년 들어서 새롭게 연구에 박차를 가하고 있는 분야이다¹⁻³⁾.

미래의 연료로 알콜을 사용하고자 하는 손쉬운 방법이 스파크 점화기관에 메탄올이나 에탄올을 혼합

[†]Corresponding author : sungbinhan@induk.ac.kr

Received: 2016.8.16 in revised form: 2016.9.6 Accepted: 2016.12.30

Copyright © 2016 KHNES

하는 방법이 있었다. 그래서 실제 미국에서는 가솔린(gasoline)과 약10%의 알콜(alcohol)을 합성해서 가소홀(gasohol)이라 불리기도 하며 배기가스 저감을 위해서 사용하고 있다.

하지만, 압축점화기관은 혼합을 하는 것이 결코 쉬운 일이 아니다. 압축점화기관은 압축에 의해서 점화가 이루어져야 하는데, 점화가 가능한 통상의 세탄가인 45-55 정도의 연료를 사용해야 한다. 하지만 알콜 연료의 세탄가는 10이하이다. 낮은 세탄가로 인하여 압축점화기관에서의 운전은 거의 불가능하게 되고, 경유보다 점도도 상당히 낮아 연료 분사펌프의 윤활 문제도 발생한다^{4,5)}.

하지만, 화석연료를 대체할 수 있는 알콜 연료는 바이오 연료의 범주에서 중요한 역할을 할 수 있다.

메탄올, 에탄올은 사탕수수, 발효물질, 녹말물질, 바이오매스, 천연가스 등으로 부터 만들어 낼 수 있으며, 재생가능연료이기도 하다. 이는 화석연료의 고갈을 문제 삼지 않는 연료가 된다. 또한 경제적인 측면에서도 화석연료 범주에서 벗어 날 수 있는 연료로 삼을 수 있다^{6,7)}.

요즘 신재생에너지 물질인 바이오매스, 재생연료로부터 알콜 연료인 메탄올과 에탄올을 얻을 수 있다는 것은 화석연료의 고갈을 해결할 수 있는 방법 중의 하나라고 생각되어 진다.

특히 디젤 자동차에서 발생하는 매연물질을 알콜 연료가 해결할 수 있다면 참으로 연구할 가치가 있는 연구가 아닐 수 없다^{8,9)}.

디젤연료에 상분리 방지제와 에탄올을 첨가하게 되면 디젤기관에서 발생하는 배출가스를 현저하게 저감 시킬 수 있는 효과가 있는 것으로 알려져 있다.

본 연구에서는 스파크 플러그가 장착한 가솔린기관이 아닌 압축점화기관용 디젤기관을 사용하였다. 디젤기관에 디젤연료와 에탄올을 혼합하고 상분리 방지제를 첨가하여 엔진 부하 실험을 수행하였다. 본 연구는 순수 디젤연료 보다는 에탄올을 혼합한 경우

Table 1 Engine specifications

Items	Specifications
Cooling system	Water-Cooled
Displacement	632 cc
Bore × stroke	92 × 95 mm
Compression ratio	21.0
Cylinder number	single
Combustion chamber	Pre-combustion chamber
Fuel injection pump	Bosch A-type
Injection nozzle	Pintle type
Nozzle opening pressure	120 kg/cm ²
Fuel injection timing	16° BTDC static

가 토크는 조금 떨어지겠지만, 배출가스 측면에서는 큰 효과를 기대해 볼 수 있는 목적을 가지고 있다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치 및 실험방법

Table 1은 본 연구에 사용된 기관 제원을 나타냈다. 본 연구에 사용된 엔진은 4 사이클 단기통 농공용 디젤기관을 이용하였다. 냉각 방식은 수냉식이다. 압축비는 21이므로 압축점화기관에서 자연착화가 이룰 수 있는 고압축비로 설계되어진 소형엔진이다.

또한 Fig. 1에 실험장치의 대략도를 나타냈다. 실험기관에 가해지는 엔진부하의 조절과 측정을 위해

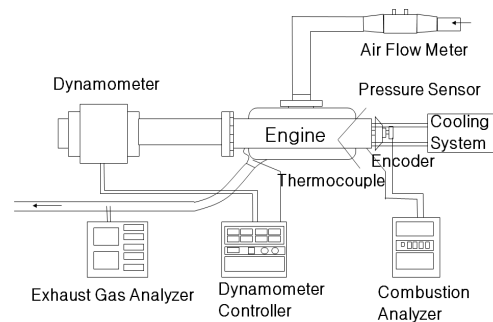


Fig. 1 The schematic diagram of the experimental set-up

Table 2 Precipitate formation time in the each electrolyte obtained by thermal stability test

	Diesel	Ethanol
Formula	C16H34	C2H5OH
Specific gravity	0.82-0.85	0.79
Lower heating value (MJ/kg)	42,600	26,808
Cetane number	45-60	8
Boiling point (°C)	210-325	78.4
Viscosity (cSt) at 25°C	2.79	1.1
Latent heat of evaporation (MJ/kg)	310	863
Theoretical air-fuel ratio	14.6	9.0

모터링이 가능한 직류동력계를 사용하였으며, 기관 성능평가를 위하여 흡배기관, 냉각수, 엔진오일 등 필요한 부분의 온도를 측정하기 위해 열전대를 삽입하였다.

지압선도(indicated diagram)를 얻기 위하여 압력 측정은 압력센서를 이용하였다. 크랭크 각도는 엔코더를 이용하여 측정하였다. 채취된 압력값은 100사이클을 평균내어 해석하였다. 압력센서는 연소실 헤드에 흡을 내어 삽입시켰고 이것으로부터 지압선도 해석장치에 입력되어 각종 압력선도, 압력상승률선도, 압력-체적선도, 열발생율, 질량연소율 등을 얻을 수 있었다.

기관회전수는 800 rpm, 1000 rpm, 1200 rpm, 1400 rpm, 1600 rpm, 1800 rpm, 그리고 2000 rpm으로 단계적으로 수행하였고, 분사시기는 16° BTDC (before top dead center)에서 일정하게 수행하였다.

또한 배기가스에 미치는 영향을 알아보기 위하여 스모크와 CO, HC를 측정하였다.

2.2 사용연료의 특성

Table 2는 디젤 연료와 에탄올의 기본적인 특성을 나타내고 있다. 여기서 에탄올은 물에 가까운 구조를 가지고 있다.

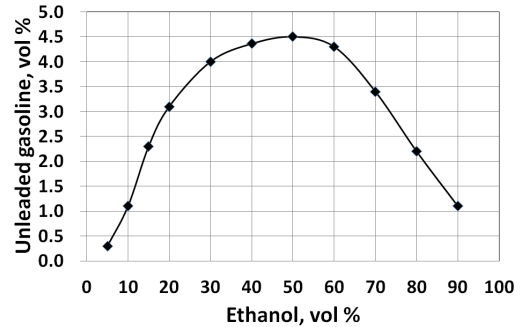


Fig. 2 Blending rate of soluble additive with ethanol blending rate

연료공급은 에탄올을 디젤과 혼합하여 사용하였다. 하지만 비중차이로 에탄올과 디젤을 혼합하게 되면 상분리가 발생하게 되므로 상분리 방지제로서 무연휘발유(unleaded gasoline)를 적용하였다.

Fig. 2에서 에탄올 5% (EB05, ethanol blending 5%)와 무연휘발유 0.3% 혼합(디젤 94.7%), 에탄올 10% (EB10)와 무연휘발유 1.1% 혼합(디젤 88.9%), 에탄올 15%(EB15)와 무연휘발유 2.3%(디젤 82.7%), 에탄올 20%(EB20)와 무연휘발유 3.1%(디젤 76.9%)임을 알 수 있다.

Fig. 3은 에탄올 vol %로 증가했을 경우에 대한 공기연료비를 나타낸 선도이다. 공기연료비는 디젤이 14.6이고 에탄올이 9정도이다. 이는 에탄올의 낮은

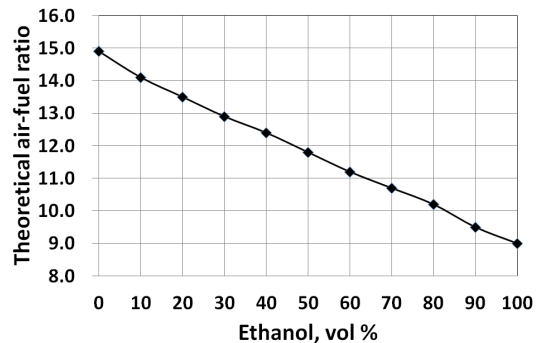


Fig. 3 Comparison of theoretical air-fuel ratio vs. ethanol blending

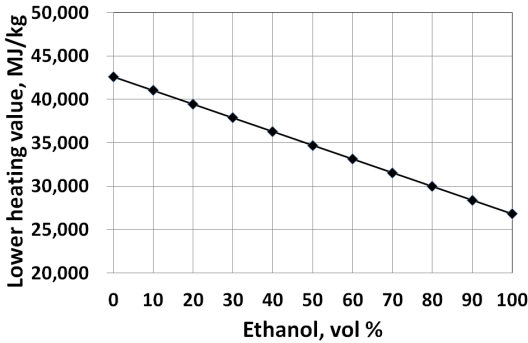


Fig. 4 Comparison of lower heating value vs. ethanol mixing rate

저위발열량과 낮은 공기연료비로 인하여, 연료소비율은 증가되었지만, 적은량의 에탄올이 혼합된다면 경제적으로 크게 문제시 되지는 않을 것으로 판단된다.

Fig. 4는 vol %로 에탄올을 첨가한 경우의 저위발열량을 나타낸 선도이다. 그림에서 저위발열량(MJ/kg)은 디젤이 46,600인 반면에 에탄올은 26,808으로써, 디젤의 63%밖에 이르지 못함을 알 수 있다.

세탄가는 디젤이 45-60인 반면에 에탄올은 8에 그치고 있어서, 압축점화기관을 작동 시키는데에 점도와 윤활작용, 분사압력에 적지 않는 부정적인 요소로 작용될 것으로 판단된다.

기화잠열(MJ/kg)은 디젤이 310인 반면에 에탄올은 863으로 약 2.8배의 기화잠열을 가지고 있어서 NOx 저감과 PM, 스모크 저감의 작용으로 긍정적인 요소로 작용할 것이 추측된다.

3. 실험결과 및 고찰

Fig. 5는 기관회전수 변화에 대한 토크를 나타낸 실험 결과이다. 토크의 크기는 Table 2과 Fig.4에서 나타낸 것 같이 저위발열량의 크기에 좌우되는 것을 알 수 있다. 즉, 디젤연료 100%가 기관회전수 변화에 대해서 가장 큰 값을 나타내고 있고, 디젤의 토크 값이 가장 크며, EB05, EB10, EB15, EB20으로 에탄올 혼합을 5%에서 10%, 15%, 20%로 증가함에 따라

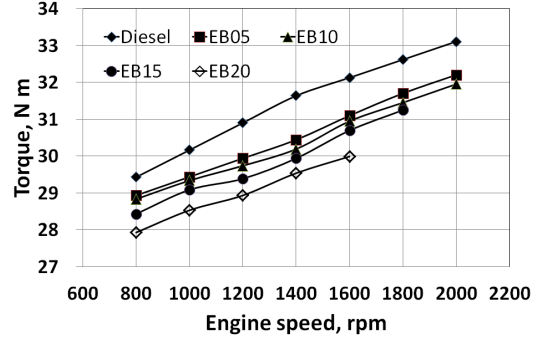


Fig. 5 Torque vs. engine speed

토크 감소를 보이고 있다.

Fig. 6은 기관회전수 변화에 대한 평균유효압력 Fig 6은 BMEP(BMEP, brake mean effective pressure)를 나타내고 있다. 평균유효압력은 배기량이 일정한 경우에 토크에 비례관계가 있으므로 Fig. 6은 Fig. 5은 토크 곡선과 동일한 경향을 보여준다.

Fig. 7은 기관회전수 변화에 대한 스모크(매연, smoke)를 나타낸 실험 결과이다. 압축 착화기관이 공기 과잉율이 균질하지 못한 상태가 되든지, 분사펌프로부터 분사된 연료가 공기와의 혼합이 불균일할 때 스모크가 발생하게 된다. 이러한 불균일한 연소로 인하여 공기가 오히려 남는 경우에도 스모크는 발생한다. 특히 공급된 연료인 디젤(C₁₆H₃₄)이 고온 산소 결핍 상태에서 탈수소반응을 일으켜서 유리된 탄소가 배출된다면 스모크를 생성하게 된다.

Fig. 7 그림에서 보는 바와 같이 기관회전수 증가

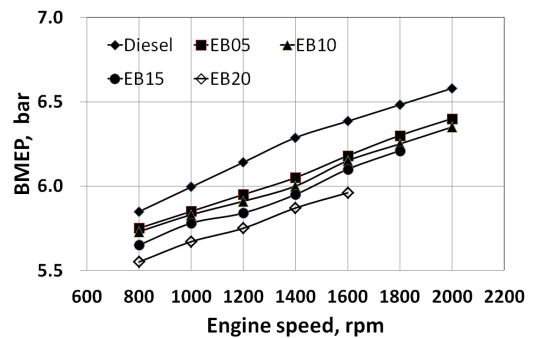


Fig. 6 Brake mean effective pressure vs. engine speed

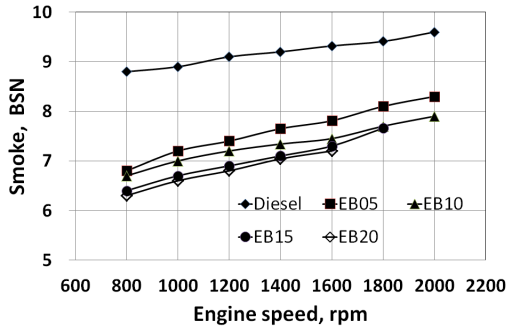


Fig. 7 Bosch smoke number vs. engine speed

에 따라, BMEP가 증가하기 때문에, 스모크 농도는 증가함을 나타내고 있다. 또한 에탄올(C_2H_5OH)의 기화잠열이 디젤보다 2.8배 높기 때문에 연료 분자 중의 수소 원자가 산소와의 결합력이 약해져서 에탄올의 혼합비율이 증가할수록 미연의 탄소가 줄어 순수 디젤연료 운전에 비해 스모크도 줄어들게 되는 것으로 생각된다.

Fig. 8은 기관회전수 증가에 대한 CO 배출가스를 나타낸 실험 결과이다. 기관회전수 증가에 따라 CO 발생은 증가하고 있고, 에탄올 첨가의 증가에 따라 CO는 줄어들고 있다. 일반적으로 CO는 혼합이 충분하지 못하여 불완전 연소가 되어 발생하게 된다. 하지만 압축점화기관은 공기과잉율이 스파크점화기관에 상대적으로 높은 운전범위에서 운전이 가능하기 때문에 가솔린을 사용하는 스파크점화기관에 비해서는 낮은 CO를 발생한다. 그림에서 보느냐와 같이 에

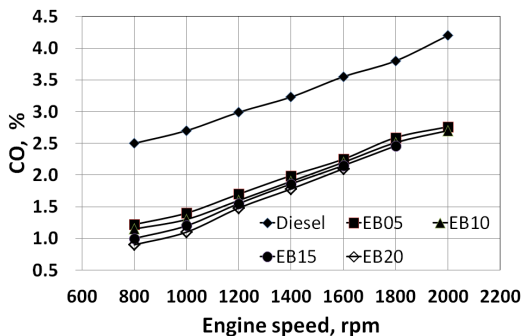


Fig. 8 CO emissions vs. engine speed

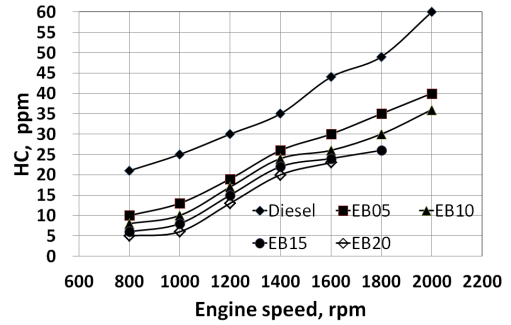


Fig. 9 HC emissions vs. engine speed

탄올 첨가의 비율을 높임에 따라 함산소화물인 에탄올의 역할로 인하여 산소의 흡입이 충분해 저서 디젤연료의 운전에 비해서 에탄올 혼합이 증가할수록 CO의 발생이 적어짐을 알 수 있다.

Fig. 9는 기관회전수 변화에 대한 HC배출량을 나타낸 실험 결과이다. 일반적으로 HC는 불완전 연소에서 발생하는 미연의 탄화수소를 의미한다. HC는 미연가스 또는 일부분만 연소하는 탄화수소의 총칭이기도 하다. HC는 농후한 영역에서 배출량이 증가하고, 고부하나 연소가 불안정한 희박한 영역에서도 배출량은 증가하게 된다. 그림에서 보느냐와 같이 기관회전수 증가에 대해서 HC 배출량은 증가한다. 하지만, 에탄올의 혼합비율이 증대 될수록 HC 배출량은 급격히 저감됨을 알 수 있다. 이는, 가솔린이나 디젤연료 같은 탄화수소 계는 파라핀 계로써 이미 HC를 포함하고 있다. 하지만 알콜은 이미 산소를 함유하고 있는 구조로 되어져 있어서 디젤연료에 비해서 HC 발생이 적은 것으로 생각 되어 진다.

특히 EB05, EB10, EB15, EB20같이 에탄올 혼합율을 증대시키면 HC발생율도 저감되는 것을 알 수 있지만, 운전영역의 확보로 인하여, EB10이 가장 적절한 혼합을 임을 알 수 있다.

4. 결 론

압축점화기관인 디젤기관에 에탄올과 상분리 방

지제를 혼합하여 기관 성능특성과 배기가스 특성에 대하여 수행하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

- 1) 순수디젤, EB05, EB10, EB15, EB20의 혼합비의 변화 실험에서, 기관회전수 증가에 대해서 토크, 평균유효압력 등은 순수 디젤연료로 기관을 작동할 경우가 가장 크고, 에탄올의 혼합율이 점차 증가함에 따라 토크와 평균유효압력은 줄어드는 것을 알 수 있다. 하지만, EB15는 1800 rpm, EB20은 1600 rpm까지가 운전의 한계 임을 알 수 있었다.
- 2) 순수디젤, EB05, EB10, EB15, EB20의 실험에서 기관회전수 변화에 대해서 에탄올의 함량이 증가함에 따라 점차 스모크, CO, HC 배출량이 저감됨을 알 수 있다.
- 3) 에탄올 10%를 첨가한 EB10인 경우가 토크 측면에서는 EB05보다는 약간 떨어지며, 스모크, HC, CO배출량 측면에서는 유리하다. 또한 EB10인 경우가, EB15, EB20보다 토크가 약간 크며, 스모크, HC, CO배출량 측면에서는 약간 불리하다. 그러므로 최적의 운전조건은 EB10 임으로 판단된다.

References

1. Singh, A. K., Mishra, C., Vibhanshu, V and Kumar, N., Performance evaluation and emission studies of a single cylinder diesel engine fuelled isopropyl alcohol and diesel, SAE Paper 2013-01-1132, 2013.
2. Bromberg, L. and Cohn, D., Alcohol fueled heavy duty vehicles using clean, high efficiency engines, SAE Paper 2010-01-2199.
3. Michikawauchi, R., Tanno, S., Ito, Y. and Kanda, M., Combustion improvement of diesel engine by alcohol addition - investigation of port injection method and blended fuel method, SAE Paper 2011-01-0336, 2011.
4. Deep, A., Potential utilization of the blend of orange peel oil methyl ester and isopropyl alcohol in CI Engine, SAE Paper 2014-01-2778, 2014.
5. Deep, A., Kumar, N., Kumar, M., Singh, A., Gupta, D. and Patel S., Performance and emission studies of diesel engine fuelled with orange peel oil and n-butanol alcohol blends, SAE Paper 2015-26-0049, 2015.
6. Gravalos, I., Moshou, D., Gialamas, T., Xyradakis, P., Kateris, D. and Tsiropoulos, Z., Performance and emission characteristics of spark ignition engine fuelled with ethanol and methanol gasoline blended fuels, www.intechopen.com, 2011.
7. Chum, H. L., Overend R. P., Biomass and renewable fuels, Fuel Processing Technology, Vol.71, pp. 187-195, 2001.
8. Celik, M. B., Experimental determination of suitable ethanol-gasoline blend rate at high compression ratio for gasoline engine, Applied Thermal Engineering, Vol. 28, pp. 396-404, 2008.
9. Prasad, S., Singh, A., Joshi, H. C., Ethanol as an alternative fuel from agricultural, industrial and urban residues, Resources Conservation and Recycling, Vol. 50, pp. 1-39, 2007.