

## 가솔린 기관의 에탄올혼합연료의 배출가스 특성에 관한 연구

정 동 화\* · 조 행 묵\*

(원고접수일 : 2003년 11월 28일, 심사완료일 : 2003년 12월 22일)

### Emission Characteristics of a Gasoline Engine Using Ethanol Blended Fuel

Dong-Hwa Jung† · Haeng-Muk Cho\*

**Abstract** : In this paper, the effects of ethanol blended gasoline on emissions and their catalytic conversion efficiencies characteristics were investigated in gasoline engine with an electronic fuel injection. The results showed that the increase of ethanol concentration in the blended fuels brought the reduction of THC and CO<sub>2</sub> emissions from the gasoline engine. THC emissions were drastically reduced up to thirty percent. And brake specific fuel consumption was increased, but brake specific energy consumption was similar level. However, unburned ethanol and acetaldehyde emissions increased. The conversion efficiency of Pt/Rh based three-way catalysts and the effect of ethanol on CO and NO<sub>x</sub> emissions were investigated by the change of engine speed, load and air/fuel ratio. Furthermore, the ethanol blended fuel results in the reduction effect of THC, CO and NO<sub>x</sub> emissions at idle speed.

**Key words** : Gasoline engine, Ethanol blended fuel, Emission Characteristics, Catalytic converter.

#### 1. 서 론

미국에서는 1996년 1월 휘발유에 4에틸납의 사용이 금지된 이후 엔진에서 완전 연소와 더불어 가솔린의 옥탄가를 향상시키고 배출 가스에 의한 대기 오염을 줄이기 위하여 여러 가지 대책들이 연구되어 왔다. 미국에서 사용되는 가솔린은 85% 이상이 MTBE(Methyl tert-butyl ether)를 함유하고 있고, 8%가 에탄올, 그리고 나머지 7%는

다른 산소 화합물로 구성되어 있다.<sup>1,2)</sup>

MTBE는 물에 높은 용해도를 나타내며 휘발유 성분보다 생물 분해 저항력이 훨씬 강하다. MTBE는 인체에 유해하며 특히 이를 포함한 가스를 흡입하면 암유발의 잠재성이 크다. 따라서 대체 산소첨가제들에 대하여 기술적 연구가 지속적으로 이루어져야 한다.<sup>3)</sup>

가솔린에 산소를 첨가하면 산소 함유량에 영향을 주어 다른 연료의 성질까지 변화시킬 뿐만 아

† 책임저자(순천제일대학 자동차기계과), E-mail : dhjung@suncheon.ac.kr, T : 061-740-1315

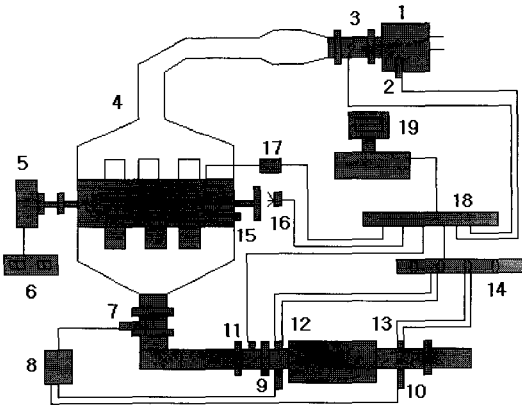
\* 천안공업대학 자동차과

니라 종류곡선을 변화시켜 가솔린 속의 다른 성분들을 희석시키게 된다.<sup>4)</sup> 연료에 에탄올을 첨가하면 탄화수소와 일산화탄소 배출량을 줄일 수 있지만, 에탄올과 아세트알데히드의 배출량은 더 높아질 수도 있다.<sup>5)</sup>

본 연구는 에탄올 혼합 연료를 사용하였을 때 엔진의 배출물 중 유해가스의 저감효과 및 기관의 연비 성능 특성을 실험적으로 규명한 것이다.

## 2. 실험장치 및 방법

본 실험에 사용한 장치는 엔진의 동력 측정 장치, 배기가스 분석 장치, 데이터 변환 장치로 구성되어 있는데 장치 구성도는 Fig.1과 같다.



1. Air cleaner	2. AFS
2. Air flow sensor	4. Inlet valve
5. Dynamo meter	6. Dynamo controller
7. Thermo couple(1)	8. Temp. controller
9. Thermo couple(2)	10. Thermo couple(3)
11. O <sub>2</sub> Sensor	12. 1st Emission gas
13. 2nd Emission gas	14. Emission analyzer
15. Crank angle sensor	16. Encoder
17. Amplifier	18. A/D converter
19. Computer	

Fig. 1 Schematic diagram of engine test apparatus

실험에 사용된 엔진은 4사이클 4기통 2000cc 전자제어 연료분사방식 가솔린 엔진으로 실린더 직경과 행정이 각각 90.82mm, 76.95mm이며 세부 제원은 Table 1과 같다. 또한 압축비는 8.2

이고 정격 출력은 66kW(4000rpm)이며 최대 토크는 150 Nm(3000rpm)이다.

배기관에는 Pt/Rh(백금/로듐)성분의 삼원 촉매 변환장치가 장착되어 있다.

실험에 사용된 동력계는 수냉 와전류식 전기동력계이며, 연소실의 압력은 압전식 압력 트랜스듀서(Piezo-electronic pressure transducer)의 신호가 증폭기, 데이터 변환장치를 거쳐 컴퓨터에서 저장되도록 구성되어 있다. THC, CO, NO<sub>x</sub> 및, CO<sub>2</sub>의 농도를 측정하기 위한 배기가스 분석기(AVL)를 사용하여 측정하였으며 그 밖의 시험 장비는 Table2와 같다.

Table 1 Specification of test engine

Item	Specification
Type	EFI Engine
Displacement Vol.(cc)	2000
Bore(mm)×Stroke(mm)	90.82×76.95
Inlet valve open	BTDC 26°
Inlet valve close	ABDC 46°
Exhaust valve open	BBDC 55°
Exhaust valve close	ATDC 9°
Compression ratio	8.2
Firing order	1-3-4-2
Cylinder number	4

Table 2 Specification of test equipment

Item	Specification
Compression sensor	Kistler 6125A
Encoder	ZG70-II2B1800
Emission analyzer	AVL CEBII
Air-fuel ratio equip.	AF-Boost meter
Engine Dynamometer	Zollner B-22AC
Intake air temp. sensor	GM hot film type
Catalytic convertor	Delphi M41

THC 배출량은 불꽃 이온화 검출기(FID)로, CO 및 CO<sub>2</sub>는 비분산 적외선 분석기(NDIR)로 분석하였으며, NO<sub>x</sub> 배출량은 화학분석기(CLD)로 측정하였다. 또한 비발화성 에탄올 및 아세트알데히드는 GC-17A 가스 색층 분석방법으로 분석하였다.

본 연구에서는 3가지 연료를 사용하였는데 1가지는 기본 연료로 옥탄가 90인 무연 가솔린(E0)이고 나머지 2가지는 무연 가솔린에 에탄올을 혼합한 연료인데 혼합비율은 에탄올을 10% 혼합한 연료(E10)와 에탄올을 30% 혼합한 연료(E30)를 사용하였다. 이상의 연료를 사용하여 공회전, 2000rpm, 3000rpm 등 엔진회전수와 부하변동에 따른 에탄올 혼합 연료 배출물의 유해물질 배출 특성을 실험적으로 구하고, 촉매변환기의 효율에 미치는 영향을 분석하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 미연에탄올 및 아세트알데히드 배출특성

Fig.2는 공회전 속도에서 에탄올을 혼합하지 않은 가솔린 연료(E0)를 기준으로 촉매변환기를 통과한 후 연료별 유해가스 배출량을 비교하여 나타낸 것이다. 에탄올 혼합 가솔린 연료를 사용했을 경우 에탄올을 사용하지 않은 무연 가솔린(E0)만 사용했을 경우보다 CO, THC 및 NOx의 배출량이 줄었는데 특히, 에탄올을 30% 혼합한 연료(E30)에서 유해가스 배출량의 저감 효과가 가장 컸다.

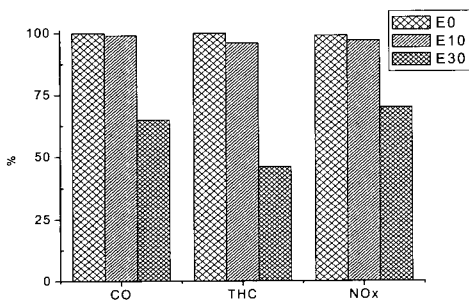


Fig. 2 Effect of ethanol blended fuel on the exhaust emission at idle speed

Fig.3은 에탄올 혼합 연료를 공급하여 운전한 경우 배출되는 연소 가스 중 미연 에탄올 성분을 촉매 전, 후에서 측정하여 엔진 부하와 배출량과의 관계를 나타낸 것이다.

이 경우 엔진 회전 속도는 2000rpm이고, 혼합

연료는 에탄올 10%와 30%의 경우에 대한 결과이다. 이들 선도에서 보는 바와 같이 촉매를 통과하기 전에는 에탄올을 30% 혼합한 연료(E30)는 에탄올을 10% 혼합한 연료(E10)보다 미연 에탄올의 발생량이 훨씬 많았다. 그러나 촉매를 통과한 후 에탄올을 30% 혼합한 연료(E30)는 미연 에탄올의 배출 농도가 현저하게 감소하였으며, 두 연료간의 미연 에탄올 발생량의 차이는 발생량이 비슷할 정도로 그 차이가 크게 떨어지는 결과를 보였다.

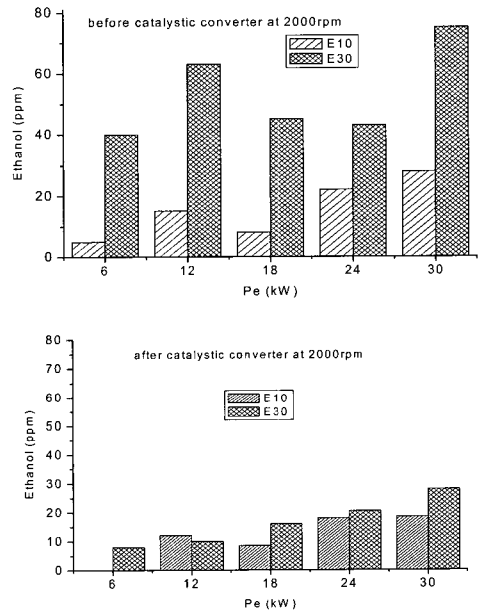


Fig. 3 Unburned ethanol emissions before and after catalytic converter at 2000rpm

Fig.4, Fig.5는 무연 가솔린과 에탄올 혼합 연료를 사용한 경우의 아세트알데히드 배출량을 비교하여 나타낸 것이다.

Fig.4는 엔진의 회전속도가 2000rpm인 경우 촉매변환기 전, 후에서 연료의 종류와 엔진 부하별로 발생한 아세트알데히드 배출량을 표시한 것인데 촉매변환기를 통과한 후에는 배출량이 크게 감소한 것으로 나타났다. 따라서 Pt/Rh(백금/로듐) 촉매변환기는 아세트알데히드의 배출 농도를 저감하는데 효과적임을 알 수 있었다.

또한, 촉매변환기 전, 후 모두에서 에탄올을 10% 혼합한 연료(E10)보다 에탄올을 30% 혼합한 연료(E30)에서 아세트알데히드 배출량이 더 많이 나타났다. 즉, 에탄올의 양이 증가하면 아세트알데히드 배출량이 증가하였다.

한편, 무연 가솔린(E0) 연료를 사용한 경우에는 혼합 연료를 사용한 경우보다 아세트알데히드 배출량이 적게 나타났으며 부하가 증가하면 아세트알데히드의 배출량이 감소할 결과를 나타냈다.

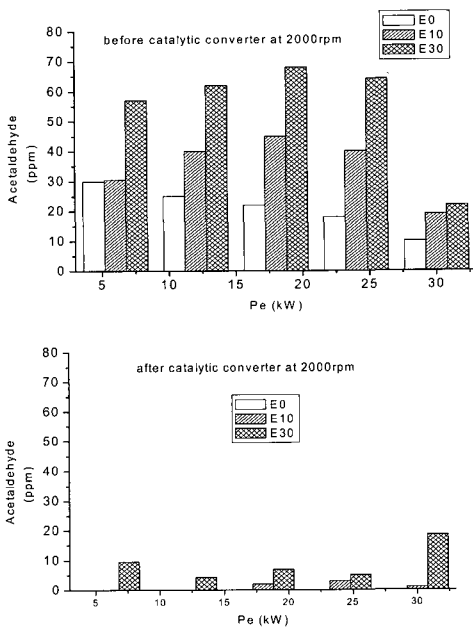


Fig. 4 Comparison of acetaldehyde emissions at 2000rpm

Fig.5는 엔진의 회전속도가 3000rpm인 경우 촉매변환기 전, 후에서 연료의 종류와 엔진 부하 별로 발생한 아세트알데히드 배출량을 표시한 것인데 여기서도 Fig.4에서 나타난 것처럼 에탄올의 양이 증가하면 아세트알데히드 배출량이 증가하는 경향을 보였으며 촉매변환기를 통과한 후에는 아세트알데히드 배출량이 크게 감소하였다. 특히, 에탄올을 30% 혼합한 연료(E30)를 사용한 경우의 아세트알데히드 배출량은 에탄올을 10% 혼합한 연료(E10)를 사용하였을 때의 약 2배 정도 나타났습니다.

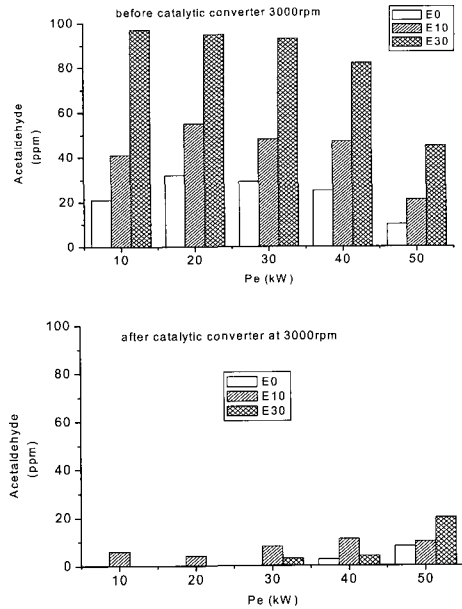
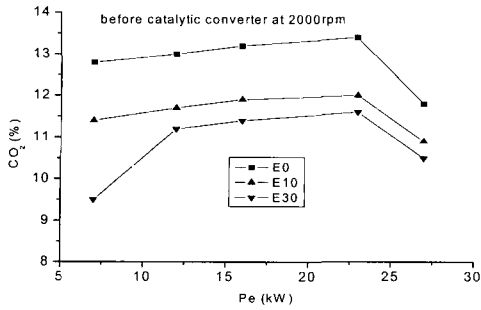


Fig. 5 Comparison of Acetaldehyde emissions at 3000rpm.

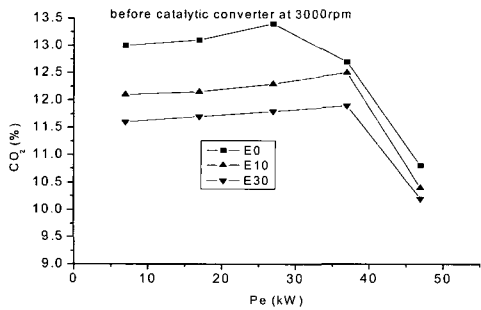
Fig.4와 Fig.5를 통해 엔진의 회전속도 2000, 3000rpm 모두에서 무연 가솔린, 에탄올 양이 다른 2가지 연료라도 촉매 장치를 통과한 후에는 배출 가스 농도가 현저하게 저감됨을 알 수 있었다.

### 3.2 이산화탄소 배출량

Fig.6은 엔진의 회전속도가 2000, 3000rpm일 때 촉매변환기를 통과하기 전에 엔진의 부하에 따라 이산화탄소 배출농도를 나타낸 것이다. 무연가솔린 보다 혼합연료를 사용한 경우 CO<sub>2</sub> 가 적게 나타났는데 에탄올 혼합량이 증가할수록 CO<sub>2</sub> 발생량은 적었다. 무연가솔린을 사용한 경우와 혼합연료를 사용한 경우 이산화탄소의 배출농도를 비교시 2000rpm에서 에탄올을 10% 혼합한 연료(E10)는 7~10%, 에탄올을 30%혼합한 연료(E30)는 10~22% 정도 무연가솔린보다 적게 배출되었으며, 3000rpm에서는 각각2~7%, 6~10%정도 감소하였다. 그 이유는 가솔린에 에탄올의 양을 증가시키면 혼합된 연료의 성분중 탄소 성분이 감소하여 배출가스 중의 이산화탄소의 배출량은 감소하는 것으로 볼 수 있다.



(a) at 2000rpm

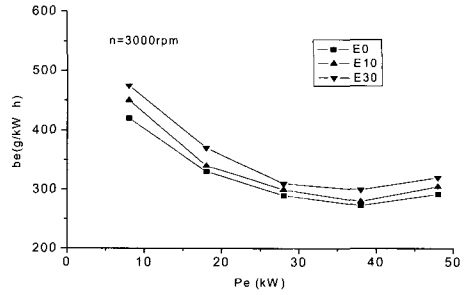


(b) at 3000rpm

**Fig. 6 Effect of ethanol blended fuel on CO<sub>2</sub> emissions at different conditions**

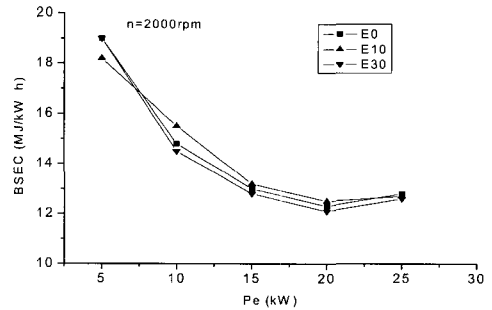
3.3 제동연료소비율

Fig.7은 무연 가솔린과 에탄올 혼합 가솔린 연료를 사용한 경우의 제동연료소비율(BSFC)을 비교하여 나타낸 것이다. 에탄올은 발열량이 낮으므로 혼합된 연료의 에탄올 성분이 증가하면 제동연료소비율이 증가한다.

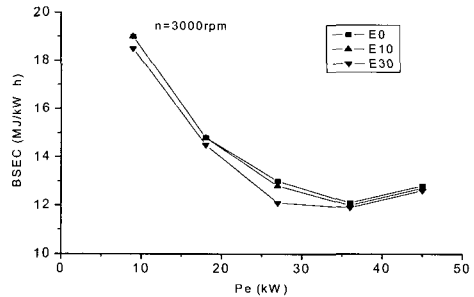


(b) at 3000rpm

**Fig. 7 Effect of ethanol blended fuel on brake specific fuel consumption**



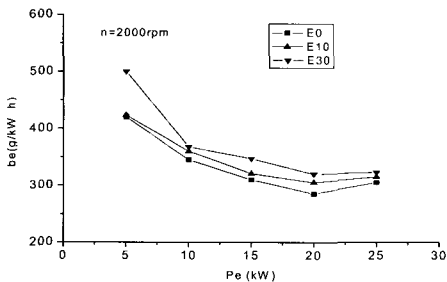
(a) at 2000rpm



(b) at 3000rpm

**Fig. 8 Brake specific energy consumption using ethanol blended gasoline fuels**

Fig.8은 제동에너지소비율(BSEC)을 나타낸 것으로 연료별로 제동에너지소비율(BSEC)의 차이는 미미하였으나 에탄올을 10% 혼합한 연료(E10)가 에탄올을 30% 혼합한 연료(E30)보다 약간 높게 나타났다.



(a) at 2000rpm

#### 4. 결 론

가솔린 기관에 에탄올 혼합연료를 적용하여 배출물 저감 및 연료 소비 특성을 실험적으로 분석한 결과는 다음과 같이 요약된다.

1. 에탄올 혼합연료에서 에탄올 양이 증가하면 미연 에탄올과 아세트알데히드 배출량은 증가하였으나 이산화탄소 배출량은 감소하는 경향을 나타냈다.
2. 에탄올 혼합연료 사용시 배출되는 미연 에탄올과 아세트알데히드가 Pt/Rh 촉매변환기를 통과하면서 배출농도가 감소하였는데 이는 Pt/Rh 촉매변환기가 에탄올 혼합연료에서도 변환 기능을 효과적으로 발휘하고 있음을 나타낸 것이다.
3. 에탄올 혼합비율의 증가에 따라 기관의 제동에너지소비율(BSEC)은 크게 변화하지 않았으나 기관의 제동연료소비율(BSFC)은 증가하는 경향을 나타냈다.

#### 참고문헌

[1] Y. J. Ana, D. H. Kampbellb, G. W. Sewellb, "Water Quality at. ve marinas in Lake Texoma as related to methyl ether (MTBE)", Environmental Pollution, Vol. 118, pp331~336, 2002.

[2] S. Pouloupoulos, C. Philippopoulos, "Influence of MTBE addition into gasoline on automotive exhaust emissions", Atmospheric Environment, Vol. 34, pp4781~4786, 2000.

[3] F. Nadim, P. Zack, G. E. Hong, et al. "United State Experience with Gasoline Adhesives", Energy Policy, Vol.29, pp1~5. 2001.

[4] P. J. Flynn, M. T. Ityokumbul and A. L. Boehman, "Preliminary investigation in the viability of 1,3-dioxolane as an alternative to MTBE in reformulated gasoline" SAE Paper, No. 2001-01-3683, 2001.

[5] S. G. Pouloupoulos, D. P. Samaras, C. J. Philippopoulos, "Regulated and unregulated emissions from internal combustion engine operating on ethanol-containing fuels", Atmospheric Environment, pp4399~4406, 2001.

[6] J. A. Pumphrey, J. I. Brand and W. A. Scheller, "Vapour pressure Measurements and Predictions for Alcohol-gasoline Blends", Fuel, Vol. 79, pp 1405~1411, 2000.

[7] A. E. Wheals, L. C. Basso, D. M. G. Alves, et al, "Fuel Ethanol after 25 Years", TIBTECH, Vol. 17, 482~487, 1999.

#### 저 자 소 개



##### 정동화 (鄭東和)

1958년 9월생, 1981년 조선대학교 기계공학과 공학사, 1992년 한양대학교 기계공학과 공학석사, 1998년 경희대학교 기계공학과 공학박사, 1983.7~1992년 8월 현대자동차(주), 현재 순천제일대학 자동차기계과 부교수.



##### 조행묵 (趙珩默)

1960년 11월생, 영남대학교 기계공학과(학사), 연세대 대학원(석사), 한양대 대학원(박사), 1983~1993 현대자동차(주), 1994~1999 가톨릭상지대학, 1999~현재 전안공업대학 자동차과 조교수.