

## 바이오 연료 적용에 따른 차량 증발가스 및 성능특성 연구

노경하\* · 이민호† · 김기호 · 김 신 · 박천규

한국석유관리원 석유기술연구소

(2017년 11월 2일 접수: 2017년 11월 24일 수정: 2017년 11월 30일 채택)

### The Characteristics Study of Vehicle Evaporative Emission and Performance according to the Bio-Fuel Application

Kyeong-Ha Noh\* · Min-Ho Lee† · Ki-Ho Kim · Sin Kim · Cheon-Kyu Park

\*Research Institute of Petroleum Technology, Korea Petroleum Quality & Distribution Authority,  
Chungcheongbuk-do, 28115, Korea

(Received November 2, 2017; Revised November 24, 2017; Accepted November 30, 2017)

**요약** : 국내·외에서 대기오염에 대한 관심이 점점 증가함에 따라 자동차 및 연료관련 분야의 연구자들은 새로운 엔진설계, 향상된 후처리장치, 청정연료 그리고 연료품질향상을 통해 자동차의 배출가스 감소를 위하여 지속적으로 노력해 왔다. 따라서, 본 연구에서는 자동차의 증발가스와 성능, 환경성에 대해 살펴보고자 하였으며, 연료의 옥탄가 향상제로 쓰이는 바이오 에탄올, 바이오 부탄올, 바이오 ETBE (Ethyl Tertiary Butyl Ether), MTBE (Methyl Tertiary Butyl Ether)가 환경에 미치는 문제점에 대해 살펴보고자 하였다.

주로 휘발유의 옥탄가 향상제로 쓰이는 바이오 에탄올, 바이오 부탄올, 바이오 ETBE, MTBE가 휘발유 연료 특성 중 증발가스에 미치는 영향에 대해 살펴보았으며, 바이오 연료 특성에 대한 가솔린 자동차의 가속 및 동력 성능을 살펴보았다. 실험결과 증발가스는 최대 1.04g/test로 모든 시험 연료가 국내 배출가스 기준에 부합함을 알 수 있었으며, 원료에 대한 증기압 측정 결과 바이오에탄올 15kPa, 바이오 부탄올 1.6kPa로 E3급 연료 제조 시 바이오 부탄올 함유량을 늘리면 증기압과 증발가스 또한 낮게 나타났다. 또한, 바이오 연료의 종류에 따라 유사한 가속 및 동력 성능을 나타내었으며, 바이오 부탄올과 바이오 에탄올 비교 시 가속 성능이 약 3.9%, 출력은 0.8% 개선되었다.

**주제어** : 바이오에탄올, 바이오부탄올, 바이오ETBE, MTBE, 서브옥탄가솔린, 옥탄가, 증류성상, 증발가스, 주행지수, 가속성, 출력

**Abstract** : As the interest on the air-pollution is gradually rising up at home and abroad, automotive and fuel researchers have been working on the exhaust emission reduction from vehicles through a lot of approaches, which consist of new engine design, innovative after-treatment systems, using clean (eco-friendly alternative) fuels and fuel quality improvement. This research has brought forward three

---

†Corresponding author  
(E-mail: nokyha@kpetro.or.kr)

main issues : evaporative, performance, air pollution. In addition, researcher studied the environment problems of the bio-ethanol, bio-butanol, bio-ETBE (Ethyl Tertiary Butyl Ether), MTBE (Methyl Tertiary Butyl Ether) fuel contained in the fuel as octane number improver. The researchers have many data about the health effects of ingestion of octane number improver. However, the data support the conclusion that octane number improver is a potential human carcinogen at high doses. Based on the bio-fuel and octane number improver types (bio-ethanol, bio-butanol, bio-ETBE, MTBE), this paper discussed the influence of gasoline fuel properties on the evaporative emission characteristics. Also, this paper assessed the acceleration and power performance of gasoline vehicle for the bio-fuel property. As a result of the experiment, it was found that all the test fuels meet the domestic exhaust gas standards, and as a result of measurement of the vapor pressure of the test fuels, the bio-ethanol : 15 kPa and the biobutanol : 1.6 kPa. thus when manufacturing E3 fuel, Increasing the biobutanol content reduces evaporation gas and vapor pressure. In addition, Similar accelerating and powering performance was shown for the type of biofuel and when bio-butanol and bio-ethanol were compared accelerated performance was improved by about 3.9% and vehicle power by 0.8%.

*Keywords : Bio-ethanol, Bio-butanol, Bio-ETBE (Ethyl Tertiary Butyl Ether), MTBE (Methyl Tertiary Butyl Ether), Suboctane gasoline, Research Octane Number, RVP (Reid Vapour pressure), Distillation Range, Driveability Index (DI), Evaporative emission, Acceleration and power performance*

## 1. 서론

자동차 및 연료 관련 연구자들은 전 세계적으로 강화되고 있는 에너지소비효율 및 배출가스, 온실가스 배출량 규제에 대응하기 위하여 다양한 형태의 환경 친화적 자동차인 그린카 (Green Car)와 친환경 연료로 대두되고 있는 바이오 연료에 대한 차량 적용 연구를 진행하고 있다[1,2,3,4]. 특히, 수송부문의 온실가스 배출 저감은 저탄소형 자동차 개발뿐만 아니라 바이오 연료와 같은 저탄소 에너지 보급 확대 등이 주요 이행 수단으로 강구되어져 왔고, 이러한 방향에 맞추어 바이오연료 보급을 확대하기 위해서 다양한 형태의 연료를 보급하기 위해 노력해 왔다. 하지만, 국내에서는 바이오디젤에 비해 아직 바이오 에탄올 보급이 전무한 실정이다. 바이오 에탄올의 보급을 위해서는 바이오에탄올 특성에 따른 유통 문제와 기존 차량에 사용 시 발생할 수 있는 연료의 상 분리, 차량 연료계통 부식, 배출가스 및 증발가스 증가 등 여러 가지 문제점이 검토되어야 하기 때문이다[5,6]. 특히, 바이오에탄올의 경우 비점이 일정하고 증기압이 높아 연료의 보급을 위하여 증발가스에 대한 검토가 이루어져야 한다. 바이오 에탄올 사용에 따른 증발가스의 증가는 대기 중

의 오존 생성을 촉진하여 광화학 스모그 발생의 원인이 될 수 있으며, 높은 증기압으로 인한 냉간시동성 악화와 증기폐쇄를 일으켜 운전성 악화를 초래할 수 있기 때문이다.

따라서, 본 연구에서는 바이오 연료인 바이오 에탄올과 바이오 부탄올, 바이오 ETBE 등에 대하여 기존의 연료인 서브옥탄 가솔린, MTBE 등의 비교를 통하여 연료물성 특성 및 증기압 변화를 살펴보고, 이를 시험차량에 적용함으로써, 연료 특성에 따른 휘발유 차량의 증발가스 배출, 가속, 출력 성능에 미치는 영향을 알아보고 국내 실정에 맞는 환경성 평가를 통하여 향후 바이오 연료의 적용 가능성을 확인하고자 하였다.

## 2. 시험장비 및 방법

### 2.1. 시험용 연료

본 연구에 사용된 연료는 서브옥탄 연료에 바이오에탄올, 바이오부탄올을 일정 비율로 혼합한 E3, E6, E10급 연료를 사용하였으며, 증발가스 특성을 살펴보기 위하여 E3급 연료에 바이오에탄올, 바이오부탄올, 바이오 ETBE, MTBE를 혼합하여 사용하였다.

**2.2. 시험용 차량**

본 연구에 사용된 차량은 국내에서 가장 대표적인 2000 cc급 휘발유 자동차를 선정하였고, 시험에 사용된 차량의 제원은 Table 1과 같다.

**2.3. 차대동력계 시스템**

자동차의 가속성 및 출력을 측정할 수 있는 차대동력계 시스템의 전체적인 개략도를 Fig.1에 나타내었다.

차대동력계 시스템은 주행모드 및 환경 조건에 따른 차량 성능을 측정할 수 있는 장비이며, 실제 도로의 운전조건을 모사하여 차량의 성능 및 배출가스를 측정할 수 있다. 본 연구에서는 해당 시험 주행모드 조건으로 운전하며, 주행속도별 실시간 차량 데이터를 획득하였다.

**2.4. 증발가스 측정 장비 (VVVT SHED) 및 시험 방법**

증발가스 측정 장비는 휘발유 및 가스 사용 차량에서 배출되는 증발가스를 측정하기 위한 시험 장비로 자동차를 넣을 수 있는 밀폐실과 밀폐실 내의 탄화수소를 측정하기 위한 분석 장비로 구성되어 있다. 따라서, 본 연구에 사용된 장비는 가변 체적 밀폐식 챔버(VVVT-SHED ; Variable Volume Variable Temperature - Shielded House evaporative gas detector)로 밀폐실 내부의 공기 온도변화에 따라 확장 및 수축할 수 있는 공기주머니가 있으며, 증발가스 분석기는 열식 불꽃 이온화 검출기법 (HFID, Heated Flame Ionization Detector)을 사용하는 분석기를 사용하였다.

Table 1. Specification of experimental vehicle

Engine Type	Inlined spark-ignited 4 stroke 4 cylinder engine
Supercharging system	Single Turbocharger
Fuel supply type	Gasoline Injector (GDI)
Bore × Stroke	86.0 mm × 86.0 mm
Displacement	1998 cc
Compression ratio	10.0 : 1
Max. Power	245 ps / 6000 rpm
Max. Torque	36.0 kg.m / 4250 rpm
Transmission	AT-6
Aftertreatment	3 way catalyst

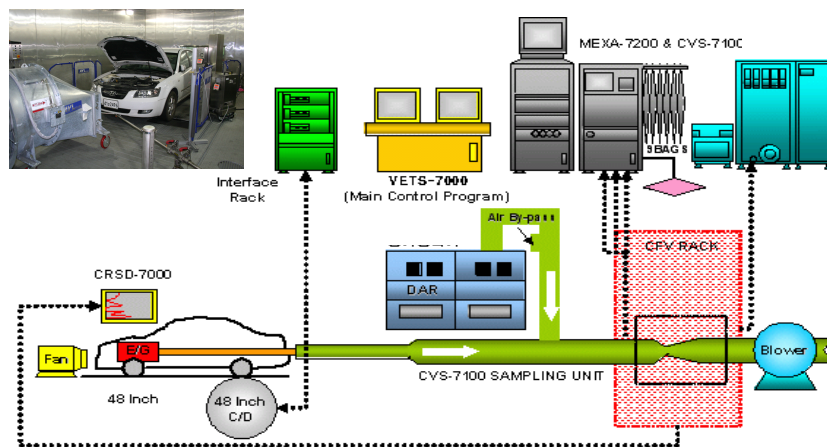


Fig. 1. Schematic diagram of gasoline vehicle emission measurement system.

평가방법은 ‘제작자동차 시험검사 및 절차에 관한 규정’의 증발가스 시험법을 준용하였다. 이는 증기압 변화시료의 증발가스 (VOCs) 측정을 위하여 밀폐 또는 환기가 안 되는 공간 (지하주차장 등)을 묘사하여 증발가스를 평가하며, 측정항목은 고온 (Hot Soak) 증발가스 및 주간 (Diurnal) 증발가스로 나뉘게 된다. 고온 증발가스는 차량 운행 후 연료의 온도가 높은 조건에서 정차시 배출되는 증발가스를 측정하여 영향을 평가하는 시험이며, 주간 (Diurnal) 증발가스는 상온에서 차량이 장기간 주차되어 있을 때 조건으로 증발가스를 측정하는 방법이다.

THC(Total Hydro Carbon)분석기는 시험 전후에 교정가스로 교정하였으며, 실시간으로 측정하였다. 시험이 완료되면 시험 장치에 수집된 정보를 이용하여 다음 식에 의해 증발가스를 계산하였다.

$$M_{HC} = KV_n \times 10^{-4} \left[ \frac{C_{HCf} P_{Bf}}{T_f} - \frac{C_{HCi} P_{Bi}}{T_i} \right]$$

여기서 :

- $M_{HC}$  : 탄화수소 중량 (g)
  - $C_{HC}$  : 탄화수소 농도(ppmC)
  - $V_n$  : 밀폐실 순체적 (m<sup>3</sup>), 밀폐실 체적에서 차량의 체적(1.42m<sup>3</sup>)을 뺀 값
  - $P_B$  : 밀폐실의 대기압 (kPa)
  - $T$  : 밀폐실의 대기온도(K)
  - $K = 1.2(12 + H/C)$
  - $M_{HC,out}$  : 밀폐실에서 유출된 탄화수소 중량 (고정체적 밀폐실)
  - $M_{HC,in}$  : 밀폐실로 유입된 탄화수소 중량 (고정체적 밀폐실)
  - $H/C$  : 수소와 탄소비(주간증발손실시험 : 2.33, 고온증발손실시험 : 2.2)
  - $i$  : 최초값
  - $f$  : 최종값
- 이다.

### 2.5. 차량 가속 및 출력 성능 측정 방법

바이오 연료는 휘발유의 옥탄가를 향상하는 기능을 가지며, 차량의 저속 및 고속 시의 운전성을 개선하는 효과가 있다. 따라서, 바이오 연료의 특성 시험을 위하여 차량의 성능차이 (가속성 및 출력)를 분석하고자 하였다.

차량의 가속성 및 출력 시험방법은 규정된 시험법이 없음에 따라 본 연구에서는 Fig. 2와 같은 패턴을 사용하여 차량의 가속성 및 출력 시험을

수행하였다. 사용된 시험방법은 차량을 10 km/h의 일정속도 주행 중 가속페달을 W.O.T (Wide open throttle) 조건으로 조작하여 차량을 가속하였으며, 120 km/h에 도달한 후 일정시간 후 브레이크를 조작하여 감속하였고, 이후 차량 속도를 10 km/h의 속도를 유지하였다. 이러한 진행 방법으로 전체 시험횟수를 총 12회 반복 수행한 후 측정된 데이터 중 20 km/h에서 100 km/h의 속도구간에서의 중간 데이터인 10회 데이터를 통해 결과를 산술평균하였다. 이때, 모든 시험결과는 1 0Hz로 측정하였다.

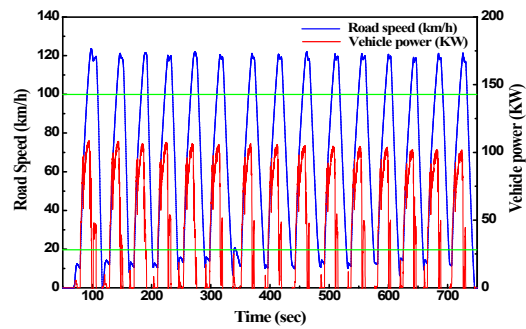


Fig. 2. Experimental data at vehicle acceleration and power performance test

## 3. 시험결과 및 고찰

### 3.1 시험용 연료의 물성 특성

평가에 사용한 base 연료는 서브옥탄 가솔린으로 산소함량은 0.1무게% 미만으로 분석되었으며 옥탄가는 90.0, 증기압은 52.7 kPa, 황분은 9.6 mg/kg으로 휘발유 품질기준을 만족하는 수준이었다. 또한, 총발열량은 46.57 MJ/kg이었으며 수분은 0.008 무게%로 분석되었다.

Table 2는 시험에 사용된 바이오 연료의 물성 특성을 나타낸 것이며, 바이오 연료의 물성은 국내 연료품질기준 항목의 자동차 휘발유 품질기준 항목에 맞춰 분석하였다. 분석 결과, 바이오 에탄올의 총발열량은 29.24 MJ/kg으로 낮게 나타났으며, 바이오부탄올 및 바이오 ETBE는 36.00 MJ/kg 과 38.67 MJ/kg으로 바이오에탄올 보다는 높고 서브옥탄가솔린 보다는 낮은 수준이었다. 수분함량은 바이오에탄올의 경우 0.2 무게%, 바이오부탄올 0.07 무게%, 바이오ETBE는 0.4 무게%로 나타났으며, 차량 증발가스에 가장 많은 미치

Table 2. Fuel quality characteristics of test bio-fuel

Test item		Suboctane	Bio-Ethanol	Bio-Butanol	Bio-ETBE	MTBE
Octane number		90.0	111	96	118	93.3
Distillation (5°C)	10%	58.1	77.0	115.4	68.4	55.6
	50%	99.8	77.0	115.7	71.1	88.5
	90%	164.3	77.1	116.0	72.5	157.9
	End point (°C)	198.3	77.3	126.7	78.9	201.5
	Residue (Vol%)	1.0	0.9	0.9	0.9	1.1
Vapor Pressure (37.8°C, kPa)		52.7	15	1.6	32.3	53.8
Sulfur (mg/kg)		9.6	12.5	1.2	37.6	7.7
Content (Vol %)	Aromatics	20.0	-	0.1↓	0.1	17.5
	Benzene	0.5	-	-	0.1	0.4
	Olefin	11.4	0.1↓	0.1	1.8	9.8
	Oxygen (Weight %)	0.1↓	35.3	21.6	15.5	2.2
	MTBE	0.1	-	-	-	11.7
	TAME	0.1	-	-	-	0.1
	Ethanol	-	99.97	-	1.9	-
	Butanol	-	-	99.76	-	-
THV (MJ/kg)		46.57	29.24	36.00	38.67	45.50
LHV (MJ/kg)		43.31	26.27	32.92	35.54	42.26
Water (Weight %)		0.008	0.218	0.070	0.400	0.012
Density (15°C, g/cm <sup>3</sup> )		0.729	0.803	0.814	0.750	0.729

는 증기압은 바이오 부탄올이 1.6kPa로 가장 낮게 측정되어 졌으며, 바이오 에탄올, 바이오 ETBE, MTBE의 순으로 높게 분석되어졌다.

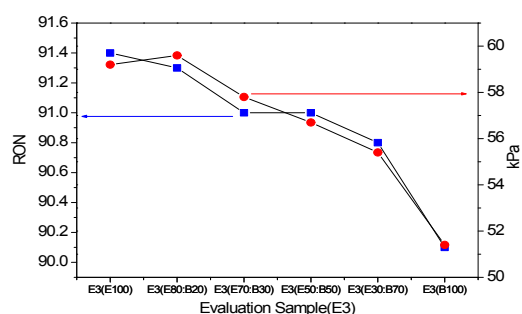


Fig. 3. Octane number and vapor pressure results of bio-fuel according to the mixing ratio (E3 type)

Fig. 3은 E3급 연료의 바이오 에탄올과 바이오 부탄올 혼합비율에 따른 옥탄가 (RON)와 증기압

을 나타낸 것이다. 연소성과 관련된 옥탄가의 경우, 바이오 에탄올 함량 증가 할수록 옥탄가가 증가하는 반면 바이오 부탄올의 함량이 증가할 경우 비례적으로 옥탄가를 감소되었다. 또한 증발가스와 관련된 증기압의 경우, 바이오 에탄올 함량에 따라 증가한 반면 바이오 부탄올 혼합으로 상쇄되는 것을 확인할 수 있었다. 발열량의 경우, 가장 낮은 열량을 가진 바이오 에탄올의 혼합양이 증가할수록 점차 낮아질 것으로 판단되었으나 바이오 부탄올의 상대적 혼합 부피비가 증가하여 전반적으로 동등수준을 보였다.

Fig. 4는 E6급 연료의 바이오 에탄올과 바이오 부탄올 혼합비율에 따른 옥탄가 (RON)와 증기압을 나타낸 것이다. 옥탄가 및 증기압 변화는 위의 E3급 연료 결과와 동일한 경향을 보였으며, 증기압은 바이오 에탄올 함량에 따라 증가하였고, 바이오 부탄올 혼합을 통해 상쇄되는 결과를 확인할 수 있었다.

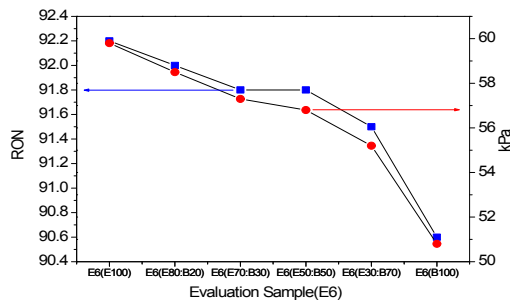


Fig. 4. Octane number and vapor pressure results of bio-fuel according to the mixing ratio (E6 type)

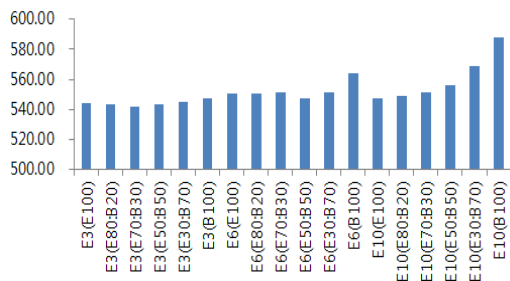


Fig. 5. Drive ability index results of bio-fuel (E3 & E6, E10 type).

운전성 지수 (Drive ability Index)는 ASTM D 4814 및 WWFC (World Wide Fuel Charter)에 제시된 계산식을 이용하여 확인한 결과, E3급 연료에서는 바이오에탄올 : 바이오부탄올 70:30에서 가장 낮은 수치로 운전성이 가장 좋은 것으로 나타났으며 80:20, 50:50, 100:0, 30:70, 0:100의 순으로 바이오 부탄올 함량이 높아지면 운전성이 나빠지는 것으로 나타났다. E6급의 연료에서의 운전성 지수는 바이오 에탄올과 바이오 부탄올이 50:50으로 혼합될 경우, 가장 좋은 결과를 보였으며, 50:50을 제외하고는 위의 E3급 결과와 동일하게 바이오 부탄올 함량이 증가할수록 운전성이 낮아졌다. 따라서, E3와 E6급 연료에서의 운전성은 바이오 에탄올과 바이오 부탄올 함량 변화에 따라 운전성에 차이를 보임을 알 수 있다.

3.2 시험차량의 증발가스 배출 특성

Fig. 6은 주간 (Diurnal) 증발가스 시험에서 VVVT-SHED의 내부온도를 나타낸 것이다. SHE

D 내부온도 변화를 살펴보면 시험법에서 주어진 온도 변화에 맞게 일정하게 제어되어 졌으며, 실제 측정온도 또한 유사하게 측정됨에 따라 동일한 조건에서 측정된 것을 확인할 있다.

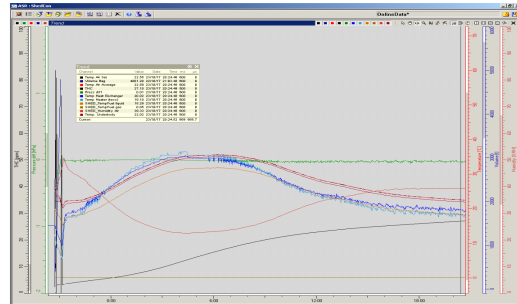
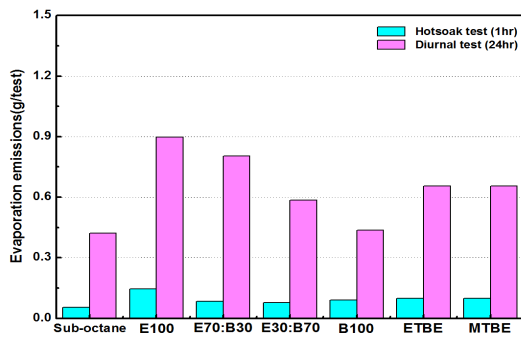


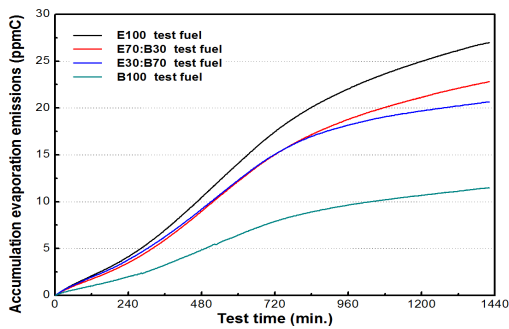
Fig. 6. VVVT-SHED test data of diurnal test condition

Fig. 7은 대상 시험차량에 대하여 바이오 연료의 종류에 따른 증발가스 배출특성 결과를 나타낸 것이다. 시험연료를 차량에 주유하여 증발가스 측정시험결과, 모든 시험연료에 대해서 국내 휘발유 차량의 배출가스 허용기준 (2g / test)을 만족하였다. 이는 「석유제품의 품질기준과 검사방법 및 검사수수료에 관한 고시」 상의 휘발유 품질기준 범위 내의 연료에서는 시험차량 증발가스가 국내 휘발유 차량의 배출가스 허용기준을 만족하는 것을 나타낸다.

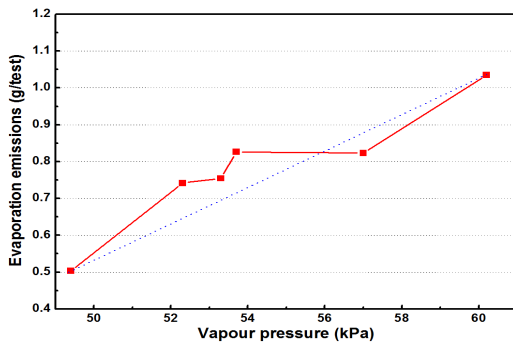
연료별로 살펴보면 바이오 에탄올 연료가 가장 많은 증발가스 배출을 보였으며, 바이오 에탄올 혼합 연료, MTBE와 바이오 ETBE, 바이오 부탄올 순으로 증발가스가 높게 발생하였다. 이러한 결과는 앞에서의 연료별 물성시험 결과 증 증기압 변화 결과와 일치 하였으며, 바이오 에탄올과 바이오 부탄올, 혼합 연료의 전체 누적 증발가스 증가량의 결과에서도 연료의 증기압에 따라 결과 차이가 나고 있다. 이는 연료의 증류성상 경향과 동일한 경향을 나타내었는데, 연료의 증기압이 증가할수록 증발가스가 증가하는 것으로 차량 캐니스터 용량에 따라 배출량에 차이가 있지만 배출되는 경향은 동일할 것으로 보인다. 전체적으로 산소함량에 따라 증발가스도 증가함을 알 수 있다. 이러한 결과는 증기압과 증류성상이 증발가스에 영향을 미친다는 기존 연구결과와 동일함을 알 수 있다[7,8].



(a) Hot-soak and diurnal test results



(b) Accumulation evaporation emissions of diurnal test



(c) Relationship between evaporation emission and vapor pressure

Fig. 7. Evaporative Emission (THC) Characteristics of test fuel

Table 3은 MTBE 물질 대비 바이오 연료별 증발가스 배출 증가율을 나타낸 것이다. MTBE 물질은 물에 대해 높은 용해도를 가지며, 휘발유 성분보다 생물 분해 저항력이 훨씬 강하고, 인체에 유해하다[9,10,11,12]. 이러한 환경적인 문제점으로 인하여 현재 다양한 국가에서 사용을 금지하고 있으며, 이러한 MTBE의 금지에 따른 옥탄가 향상용 대체물질이 필요한 실정이다. 이에 MTBE를 대체할 수 있는지 바이오 연료별 증발가스 결과를 살펴보면, MTBE 연료 대비 바이오 부탄올이 가장 적게 배출되고 있는 것을 볼 수 있고, 가장 큰 배출은 바이오 에탄올, 바이오 ETBE는 유사한 결과를 보이고 있다. 차량 배출가스 및 성능평가, 경제성 분석 등 다양한 결과의 비교가 필요하지만, 증발가스 결과만을 볼 경우에는 바이오 에탄올 보다는 바이오부탄올이 MTBE 대체물질로서 적당함을 알 수 있다.

### 3.3 차량 가속성 및 출력 성능 특성

Table 4와 Fig. 8은 대상 시험차량에 대하여 바이오 연료의 종류에 따라 차량성능 영향을 살펴보기 위한 차량 가속 및 출력 성능 결과이다.

바이오 연료 종류에 따라 가속 성능 및 출력 성능 결과는 약간의 차이를 나타내지만, 거의 유사한 결과를 보이는 것을 알 수 있다. 그렇지만, 서브옥탄 가솔린과 비교하여 보면 가속 성능은 최대 약9%, 출력 은 최대 약 10% 정도 개선된 것을 알 수 있다. 또한 바이오 에탄올과 바이오 부탄올을 비교하여 보면, 바이오 부탄올의 가속 성능이 개선되어 소요되는 시간은 감소하고 있고, 출력 성능도 크게 향상된 것을 알 수 있다.

이러한 가속 및 출력 성능은 휘발유에 바이오 연료가 혼합되면서 연료의 옥탄가가 향상되고[13], 산소함량의 증가에 의한 것임을 알 수 있다. 옥탄가 및 산소함량 증가로 인하여 엔진 연소실 내에서 발생할 수 있는 노킹의 가능성이 적어지고, 연소 환경이 좋아지게 되어서 최종적으로 차량 가속 성능과 출력 성능이 향상된 것을 알 수 있다[14,15].

Table 3. Evaporation emission ratio (%) by test fuel Type

Fuel type	Bio-ethanol	Bio-butanol	Bio-ETBE
Ratio (%)	38.25	-33.29	-1.72

Table 4. Acceleration and power performance of test fuel

Fuel type	Sub-octane	E100	E70 : B30	E30 : B70	B100
Acceleration (sec)	8.018	7.627	7.305	7.364	7.318
Power (kW)	125.02	132.27	133.15	131.57	133.28

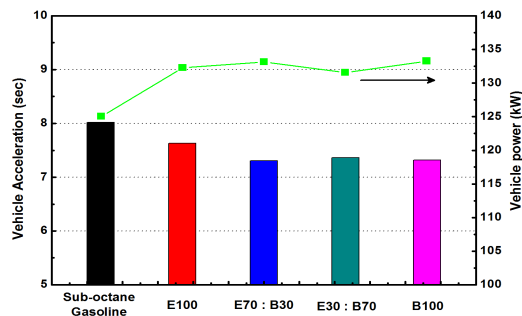


Fig. 8. Acceleration (sec) and Power (kW) Performance of test Fuel.

#### 4. 결론

바이오 연료인 바이오 에탄올과 바이오 부탄올, 바이오 ETBE 등에 대하여 기존의 연료인 서브옥탄 가솔린, MTBE 등과의 비교를 통하여 연료물성 특성 및 증기압 변화를 살펴보고, 이를 시험차량에 적용하여 차량 증발가스 배출 및 가속·출력 성능을 시험한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 바이오 연료의 원액에 대한 물성측정 결과, 바이오 에탄올의 총발열량은 29.24 MJ/kg으로 상당히 낮은 결과를 보였고, 바이오부탄올 및 바이오 ETBE는 바이오 에탄올 보다는 높고 서브옥탄가솔린 보다는 낮은 수준으로 나타났다. 차량 증발가스에 가장 많은 영향을 미치는 증기압은 바이오 부탄올 1.6kPa로 가장 낮았으며, 바이오 에탄올 15 kPa, 바이오 ETBE 32.3kPa, MTBE 53.8kPa로 MTBE가 가장 높게 나타났다.
2. 바이오 연료 혼합에 따라 연소성과 관련된 옥탄가의 경우, 바이오 에탄올 함량 증가는 옥탄가를 증가시키는 반면 바이오 부탄올의

함량은 반대로 비례적으로 옥탄가를 감소시켰다. 바이오 에탄올과 부탄올의 함량을 변화 시켰을 때 바이오 에탄올만 사용 시 옥탄가 91.4, 바이오부탄올만 사용 시 90.1로 감소하였다. 또한 증발가스와 관련된 증기압의 경우, 바이오 에탄올 함량에 따라 60.2kPa까지 증가한 반면 바이오 부탄올 혼합을 통해 상쇄되는 결과로 49.4kPa의 낮은 증기압 결과를 얻었다. 발열량의 경우, 29.24MJ/kg으로 가장 낮은 열량을 가진 바이오 에탄올의 혼합양이 증가할수록 점차 낮아져 바이오부탄올의 상대적 혼합 부피비가 증가하여 전반적으로 동등수준으로 나타났다.

3. 바이오 연료 혼합에 따라 운전성 지수를 확인한 결과, E3급 연료에서는 바이오에탄올 : 바이오부탄올(70:30)에서 가장 낮은 수치로 운전성이 가장 좋은 것으로 나타났으며, 바이오 부탄올 함량이 높아질수록 운전성이 나빠졌다. 전반적인 운전성 지수를 검토한 결과 E70:B30에서 542를 나타냈으며, 바이오부탄올 100에서는 588의 운전성 지수를 나타냈다.
4. 증발가스 시험결과, 모든 시험연료에 대해서 국내 휘발유 차량의 배출가스 허용기준을 만족하였다. 연료별로는 바이오 에탄올 연료 1.04g/test로 가장 많은 증발가스 배출을 보였으며, MTBE와 바이오 ETBE은 0.75g/test로 유사한 수준, 바이오 부탄올은 0.53g/test로 가장 적은 배출을 보였다. 이러한 결과는 연료별 물성시험 결과 중 증기압 변화 결과와 일치하였다.
5. 바이오 연료 종류에 따라 유사한 가속 성능과 출력을 보이는 것을 알 수 있다. 그렇지만, 서브옥탄 가솔린과 비교하여 보면 E100은 약 4.9%, E70:B30은 8.9%, E30:B70 8.1% B100 8.7%의 가속 성능이 좋아졌



으며, 바이오 에탄올과 바이오 부탄올을 비교해 보면, 바이오 부탄올이 가속 성능이 약 3.9% 개선되었으며, 출력은 약 0.8% 향상되었다.

### 감사의 글

본 연구는 2016년도 한국에너지기술평가원 주관 "산업기술혁신사업 (에너지기술개발사업, No.2 0163010092160)"으로 수행되었으며, 관계 기관의 지원 및 협조에 감사드립니다.

### References

1. C. S. Lim, "Analysis of Stakeholder Perspectives for Biofuel Policy Using Q-methodology in Korea, New & Renewable Energy", *Journal of KSNRE*, Vol.11, No.1, pp. 36-48, (2015)
2. H. Tanaka, T. Matsumoto, R. Funaki, T. Kato, K. Mitsutake, M. Sekimoto, H. Watanabe, "Effects of Ethanol or ETBE Blending in Gasoline on Evaporative Emissions for Japanese In-Use Passenger Vehicles", *SAE Paper* No. 2007-01-4005, (2007)
3. H. Tanaka, "Effects of Ethanol and ETBE Blending in Gasoline on Evaporative Emissions", *SAE Paper* No. 2006-01-3382, (2006)
4. D. Karonis, G. Anastopoulos, E. Lois, S. Stournas, "Impact of simultaneous ETBE and Ethanol Additive on Motor Gasoline Properties", *SAE Paper* No. 2008-01-2503, (2008.10.06.)
5. R. M. Reuter, J. D. Benson, V. R. Burns, R. A. Gorse, A. M. Hochhauser, W. J. Koehl, L. J. Painter, B. H. Rippon, J. A. Rutherford, "Effects of Oxygenated Fuels and RVP on Automotive Emissions - Auto/Oil Air Quality Improvement Program", *SAE Paper* No.920326, (1992)
6. H. M. Lee, J. U. Won, C. N. Kim, J. H. Roh, "Occupational exposure aspect of gasoline vapor according to the use of gasoline vapor recovery system", *Journal of Korean society of occupational and environmental hygiene*, Vol.25, No.2, pp.156-165, (2015)
7. K. Kar, T. Last, C. Haywood, R. Raine, "Measurement of Vapor Pressures and Enthalpies of Vaporization of Gasoline and Ethanol Blends and Their Effects on Mixture Preparation in an SI Engine", *SAE Paper* No.2008-01-0317, (2008)
8. H. Tanaka, T. Kaneko, T. Matsumoto, T. Kato, H. Takeda, "Effects of Ethanol and ETBE Blending in Gasoline on Evaporative Emissions", *SAE Paper* No.2006-01-3382, (2006)
9. J. G. Park, "Environmental Risk Assessment of MTBE", *Journal of environmental policy*, Vol.1, No.1, pp.75-90, (2002)
10. J. B. Park, "Problems and countermeasure of soil contamination by MTBE(methyl tertiary butyl ether)", *Geotechnical Engineering*, Vol.21, No.12, pp.45-56, (2005)
11. B. Mustafa, E. Jasjfi, "The Effect of Blending of MTBE in Gasoline on Octane Improvement", *SAE Paper* No. 932668, (1993)
12. J. Kivi, A. Niemi, N. O. Nylund, M. Kyto, K. Orre, "Use of MTBE and ETBE as Gasoline Reformulation Components", *SAE Paper* No. 922379, (1992)
13. A. Prakash, A. Jones, E. Nelson, J. Macias, E. Jimenez, M. Hinojosa, "Octane Response of Premium-Recommended Vehicles", *SAE Paper* No. 2013-01-0883, (2013)
14. D. Karonis, G. Anastopoulos, E. Lois, S. Stournas, "Impact of Simultaneous ETBE and Ethanol Addition on Motor Gasoline Properties", *SAE Paper* No. 2008-01-2503, (2008)
15. T. Alleman, "Analysis of Ethanol Fuel Blends", *SAE Paper* No. 2013-01-9071, (2012)