

## DME-LPG 혼합연료를 사용한 LPG 차량의 실증평가

연주민\*, \*\* · 이민호\* · 박천규\* · 황인하\* · 하종한\* · 강 옹\*\*†

\*한국석유관리원 석유기술연구소, \*\*충남대학교 화학공학과

(2015년 8월 26일 접수, 2015년 12월 10일 수정, 2015년 12월 15일 채택)

### Feasibility Test of LPG Vehicles by Using DME-LPG Blends

Jumin Youn\*\*\*, Minho Lee\*, Cheonkyu Park\*, Inha Hwang\*, Jonghan Ha\* and Yong Kang\*\*†

\*Research Institute of Petroleum Technology, Korea Petroleum Quality & Distribution Authority,

\*\*Department of Chemical Engineering, Chungnam National University

(Received 26 August 2015, Revised 10 December 2015, Accepted 15 December 2015)

#### 요 약

DME는 높은 세탄가와 낮은 배출가스로 인하여 청정 디젤엔진 대체연료로 사용될 수 있고, LPG와 물리적 특성이 유사하기 때문에 혼합사용이 가능하다. 본 연구에서는 DME-LPG 혼합연료를 LPG 차량 연료에 적용한 실증평가를 수행하였다. 평가 차량으로는 LPG 연료 공급방식별로 액상연료공급방식(LPLi), 기상연료공급방식(LPGi), 분배식펌프 방식(Mixer type)의 LPG 자동차를 선택하였다. 배출가스(CO, THC, NO<sub>x</sub>)와 연료소비효율에 대한 영향을 비교하기 위하여 LPG와 DME-LPG 혼합연료에 대한 성능평가를 수행하였다. 차량의 주행거리가 증가함에 따라 DME-LPG 혼합연료를 사용한 차량의 배출가스와 연료소비효율은 LPG 연료를 사용한 경우와 비교해서 동등한 수준으로 평가되었다.

**주요어** : 디메틸에테르, 액화석유가스, 대체연료, 배출가스, 연료소비효율

Abstract - Dimethyl ether (DME) can be used as a clean diesel alternative fuel due to the high cetane number and low emission, it can also be applied to automotive fuel as a blended liquefied petroleum gas (LPG) because physical properties are similar to those of LPG. In this study, feasibility test of LPG vehicle using blended DME-LPG fuel was investigated. Three types of fuel supply such as LPLi (Liquid phase LPG injection), LPGi (Liquid phase gas injection) and mixer type were selected to consider the LPG fuel-injection system. The performance characteristics of LPG vehicle were examined by using LPG and blended DME-LPG fuel in order to compare the exhaust emissions (CO, THC, NO<sub>x</sub>) and fuel economy. The emissions and fuel economy of DME-LPG blend fuel were comparable to those of LPG with increasing driving distance.

**Key words** : DME, LPG, Alternative fuel, Emission, Fuel economy

### 1. 서 론

디메틸에테르(DME, dimethyl ether)는 구조식이 CH<sub>3</sub>OCH<sub>3</sub>인 합산소물질로 천연가스, 석탄 및 바이오매스로부터 합성되며 인체에 독성이 없고 친환경적이

기 때문에 석유대체연료로 주목받고 있다. 전 세계적으로 석유대체연료에 대한 관심이 높아지는 상황에서 DME는 에너지원 다변화, 에너지안보 및 친환경적 측면에서 보급중이거나 도입을 위해 연구 중에 있다 [1-3].

DME 연료의 표준화 작업도 전 세계적으로 이루어져, 일본은 2013년 3월 JIS K 2180-1을 제정하여 연료용 DME의 품질기준과 시험방법을 마련하였다. 미국은

†To whom corresponding should be addressed.

Chungnam National Univ., Daejeon 34134, Korea

Tel : +82-42-821-5683 E-mail : kangyong@cnu.ac.kr

2014년 2월 ASTM D7901을 제정하여 수송용 및 LPG 혼합용 DME 연료의 품질기준을 규정하였다. 국제표준화기구(ISO)는 2015년 5월 ISO 16861을 통하여 수송용, 발전용 및 가정용 연료로 사용되는 DME의 규격을 제정하여 국제적인 기준을 정립하였다. 국내에서는 DME를 석유 및 석유대체연료 사업법 시행령 제5조에 석유대체연료로 규정하여 상용화를 위한 제도 마련과 연구를 수행중이며, 2013년 12월 DME-LPG 혼합연료의 성분분석 방법인 KS M 2078 시험방법을 국가 표준으로 등재하였다[4-8].

DME는 에어로졸 스프레이 추진제로 처음 사용되었고, 내연기관에서의 배출가스 저감효과와 높은 세탄가(55-60)로 인하여 청정 디젤엔진 대체연료로 연구되기 시작하였다. 또한 DME의 물리적 특성이 액화석유가스(LPG, Liquefied petroleum gas)와 비슷하여 LPG에 혼합한 형태로 가정용, 산업용 및 수송용 연료로 적용이 가능하다. 중국은 세계 최초로 DME 연료를 상용화하여 80여개의 제조사와 연간 6,300 Mton의 생산능력을 갖추고 있으며 생산량의 90%를 LPG 연료와 혼합한 가정·산업용 연료로 사용하고 있다. 미국 캘리포니아주는 수송용 연료로 DME의 사용을 허가하였으며, Volvo사는 DME 연료를 사용하는 트럭을 개발하여 운행 중이다[9].

국내에서도 DME 연료의 보급 활성화를 위하여 LPG에 일정량을 혼합하여 가정용 및 수송용 연료로 사용하기 위한 연구가 수행되었다. 우리나라 수송용 분야의 LPG 소비량과 LPG 차량 보유대수는 세계 최고 수준으로 DME-LPG 혼합연료 보급은 에너지원 다변화와 안정적인 연료 확보를 위해 중요한 과제라 할 수 있다. Marchionna 등의 연구에 의하면 LPG에 15-20 vol%의 DME를 혼합할 경우 가정용 연소기기의 구조변경 없이 사용이 가능하다고 보고하였다[10,11]. Amoco에서의 연구에 의하면 DME가 경유와 같이 세탄가가 높은 연료임에도 불구하고 DME 10-25 wt% 혼합한 DME/Propane 혼합연료는 휘발유 또는 LPG를 연료로 사용하는 SI(spark ignition) 엔진에 사용될 수 있음을 발견하였다[12]. Lee 등은 DME-LPG 혼합연료를 사용한 SI 엔진의 성능평가 연구에서 DME 혼합율이 증가할수록 최대 토크값이 감소하고 노킹현상이 발생한다고 보고하였다[13,14].

DME는 Table 1에서 보는 바와 같이 LPG와 유사한 물리적 특성을 보이고 있지만, 발열량이 LPG 보다 낮고 높은 활성으로 인하여 고무재질을 팽윤시키는 단점을 가지고 있다. 또한 Table 2에서 보는 바와 같이 LPG에 DME 혼합율이 증가할수록 옥탄가가 감소하여 SI 엔진의 노킹을 발생시키는 원인으로 작용한

**Table 1.** The physical and chemical properties of DME and LPG

	DME	LPG		
		Propane	Butane	
			Isobutane	n-Butane
Formula	CH <sub>3</sub> OCH <sub>3</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	i-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	n-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>
Liquid Density (kg/m <sup>3</sup> , 15 °C)	668	507	563	584
Boiling point (°C)	-24.8	-42.1	-12	-0.5
Vapor pressure (kPa, 40 °C)	881	1352	531	377
Lower heating value (MJ/kg)	28.8	46.3	45.6	45.7

**Table 2.** Octane numbers of propane vs. various propane/DME blends (US Patent 5,632,786)

	0	10	15	20	25	30
wt% DME	0	10	15	20	25	30
wt% propane	100	90	85	80	75	70
Research octane number (RON)	111.5	103.9	100.1	96.3	92.5	88.7
Motor octane number (MON)	100	91.3	86.9	82.6	78.2	73.8
(RON+MON)/2	106	97.6	93.5	89.5	85.4	81.25

다. 따라서 DME-LPG 혼합연료를 LPG 자동차 연료로 사용했을 때 차량의 주행안정성 및 내구성 확보를 위한 장기적인 실증평가가 필요하다. 본 연구에서는 국산 상용 LPG 자동차의 구조적인 변경없이 DME 5 mol% 농도의 DME-LPG 혼합연료를 사용하여 60,000 km 내구주행을 실시하고 DME-LPG 혼합연료가 차량의 배출가스와 연료소비효율에 미치는 영향을 평가하였다.

## 2. 시험장치 및 방법

본 연구에서는 LPG 연료 공급방식에 따라 국내에서 운행 중인 4대의 LPG 차량을 선정하여 평가를 수행하였다. DME-LPG 혼합연료를 각각의 차량에 충전하여 60,000 km 실도로 내구주행을 실시하면서 매 10,000 km 마다 배출가스와 연료소비효율을 평가하였다.

### 2-1. 시험 연료

시험용 연료는 유통되는 LPG 연료에 DME 5 mol%를 혼합한 DME-LPG 혼합연료를 사용하였다. DME는 한국가스공사 DME Demo Plant에서 생산된 연료를 사용하였으며, 총 5회에 걸쳐 DME-LPG 혼합연료를 공급받아 2.9 ton 용량의 저장탱크 3기에 저장하였다. DME-LPG 저장탱크와 연결된 디스펜서를 이용해 차량에 연료를 충전하였으며, 4대의 차량을 60,000 km 주행하는 동안 약 20 ton의 연료가 사용되었다. DME-LPG 혼합연료의 물성은 액화석유가스의 안전관리 및 사업법에서 규정하고 있는 LPG 시험방법에 준하여 품질기준 항목을 분석하였다.

### 2-1-1. 조성분석

본 연구에 사용된 DME-LPG 혼합연료의 조성분석은 Deans switching system(Analytical Controls, The Netherlands)이 설치된 Agilent Technologies 7890A GC(Agilent Technologies, USA)를 사용하여 한국산업규격 시험방법 KS M 2078에 의하여 분석하였다 [8,15].

### 2-1-2. 황 함량

DME-LPG 혼합연료의 황 함량은 자외선형광발광법을 이용한 분석기기(NSX-2100V, Mitsubishi Chemical Analytech, Japan)를 사용하여 미국재료시험협회 시험방법인 ASTM D6667에 의하여 분석하였다.

### 2-1-3. 증기압 및 밀도

DME-LPG 혼합연료의 증기압과 밀도는 DME-LPG 조성성분 데이터와 증기압 및 밀도 인자를 이용하여 계산하는 한국산업규격 시험방법 KS M ISO 8973에 의하여 이론식으로 구하였다.

### 2-1-4. 잔류물질

DME-LPG 혼합연료의 잔류물질은 증발잔류물의 양을 용량법으로 분석하는 미국재료시험협회 시험방법 ASTM D2158에 의하여 분석하였다.

### 2-1-5. 동판부식

DME-LPG 혼합연료의 동판부식은 동판의 부식정도를 분석하는 한국산업규격 시험방법 KS M ISO 6251에 의하여 분석하였다.

Table 3. Specification of experimental vehicle

Vehicle	A	B	C	D
Fuel supply type	LPLi	LPGi	LPLi Hybrid	LPG-Mixer
Valve mechanism	DOHC	DOHC	DOHC	DOHC
Displacement	1,998	1,993	1,591	2,497
Max. power (ps/rpm)	136/6,000	137/6,300	114/5,800	150/5,200
Max. torque (kg-m/rpm)	18.9/4,250	15.9/4,600	15.1/4,500	22.0/3,600
Transmission	AT	AT	AT	AT
Wheel base (mm)	2,700	2,700	2,650	2,910

## 2-2. 시험 차량

시험용 차량은 국내 자동차 제작사에서 출시된 4대의 LPG 차량으로 액상연료공급방식(LPLi), 기상연료공급방식(LPGi), LPLi 하이브리드 및 분배식펌프 방식(Mixer type) 차량을 각각 1대씩 선정하였다. Table 3에 각각의 차량에 대한 제원을 나타내었다.

## 2-3. 차량 성능평가 시험장비

본 연구에서 배출가스와 연료소비효율을 측정하기 위한 차대동력계 시스템(Chassis dynamometer)은 자동차를 실도로 조건과 동일하게 부하를 제어하기 위한 차대동력계와 자동차의 배기구를 통하여 배출되는 배출가스를 분석하는 배출가스 분석기, 배출가스를 일정하게 채취하기 위한 시료채취장치, 배기가스와 ambient 가스를 적절하게 희석하는 희석터널, 배기가스 열교환기, 보조 운전장치(Driver aid, weather station) 등으로 구성되어 있다. 본 시스템은 국내 총중량 3.5 톤 미만의 소형, 승용 및 화물자동차에 대하여 인증하는 장비로 배출가스 및 연료소비효율을 측정할 수 있도록 형식 승인된 시험장비이며 그 개략도를 Fig. 1에 나타내었다.

차대동력계는 자동차가 실제 도로를 주행할 때 정지→가속→정속→감속 등을 반복하는 과정을 대표화한 실측 주행모드를 사용하여 주행할 수 있도록 자동차에 부하를 걸어주는 장치로서 노상 주행저항과 관성 등을 모의하여 운전하도록 하는 기능을 가진다. 본 연구에 사용된 차대동력계는 AC(교류) 동력계(AVL, Austria)로 관성중량(Inertia weight), 동력흡수계(Power absorption unit), 제어기(controller)로 구성되어 있다.

배출가스 측정은 시험자동차가 차대동력계의 롤러

위에서 각 모드별로 주행할 때 배기관으로부터 배출되는 가스를 정용량 시료채취장치(CVS, Constant volume sampler)로 일정량의 공기를 희석한 후, 시료 채취백에 포집하여 배출가스를 정량분석하였다. 배출가스 측정장치는 MEXA Series(HORIBA, Japan)를 사용하였으며, 자동차의 배출가스 중 일산화탄소(CO)와 이산화탄소(CO<sub>2</sub>)는 비분산적외선분석법(NDIR, Nondispersive infrared), 미연탄화수소(THC)는 열식불꽃이온화검출기법(HFID, Heated flame ionization detector), 질소산화물(NO<sub>x</sub>)은 화학발광법(CLD, Chemiluminescence detector), 메탄(CH<sub>4</sub>)은 GC-FID(Gas chromatography-FID)를 사용하여 각각 분석하였다. 이러한 제반 데이터를 분석하여 배출가스농도와 카본밸런스법에 의하여 연비를 산출하였다.

## 2-4. 차량 성능평가 시험방법

시험에 사용된 차량의 운전조건(모드)은 국내 제작 자동차의 배출가스 및 연비인증 모드인 CVS-75(FTP-75)와 고속연비측정 모드인 HWFET(Highway fuel economy test) 모드를 사용하였다. 시험은 Fig. 2와 같은 과정으로 수행하였다. DME-LPG 혼합연료를 차량연료로 사용하여 60,000 km 실도로 주행을 실시하고 매 10,000 km 마다 엔진오일 및 필터를 교환하고 차량점검을 실시하였다. 다음으로 시험차량을 실도로 상황과 동일한 부하조건으로 설정하기 위하여 차대동력계에서 coast-down을 실시하였다. Coast-down을 실시한 후에는 차량의 상태를 동일한 조건으로 유지하기 위하여 CVS-75 모드 운전조건으로 1회 운전하는 preconditioning을 수행하였다. 이 과정을 거친 시험차량은 실내온도가 20-30 °C로 유지되는 시험실내에 엔진이

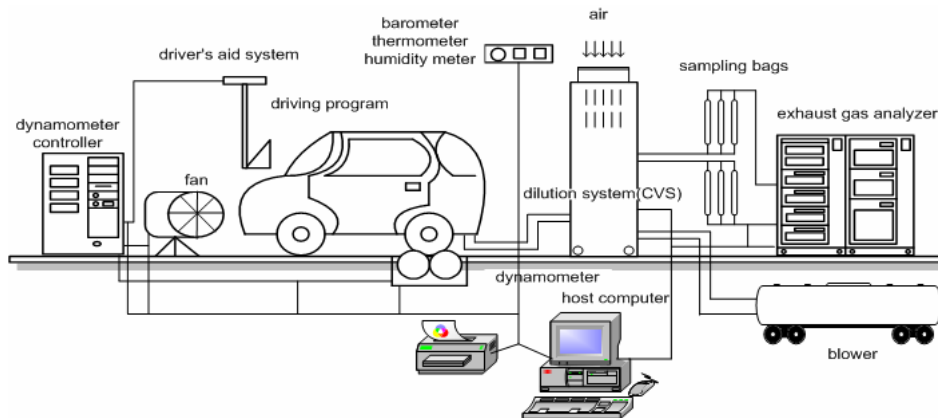


Fig. 1. Schematic diagram of chassis dynamometer.

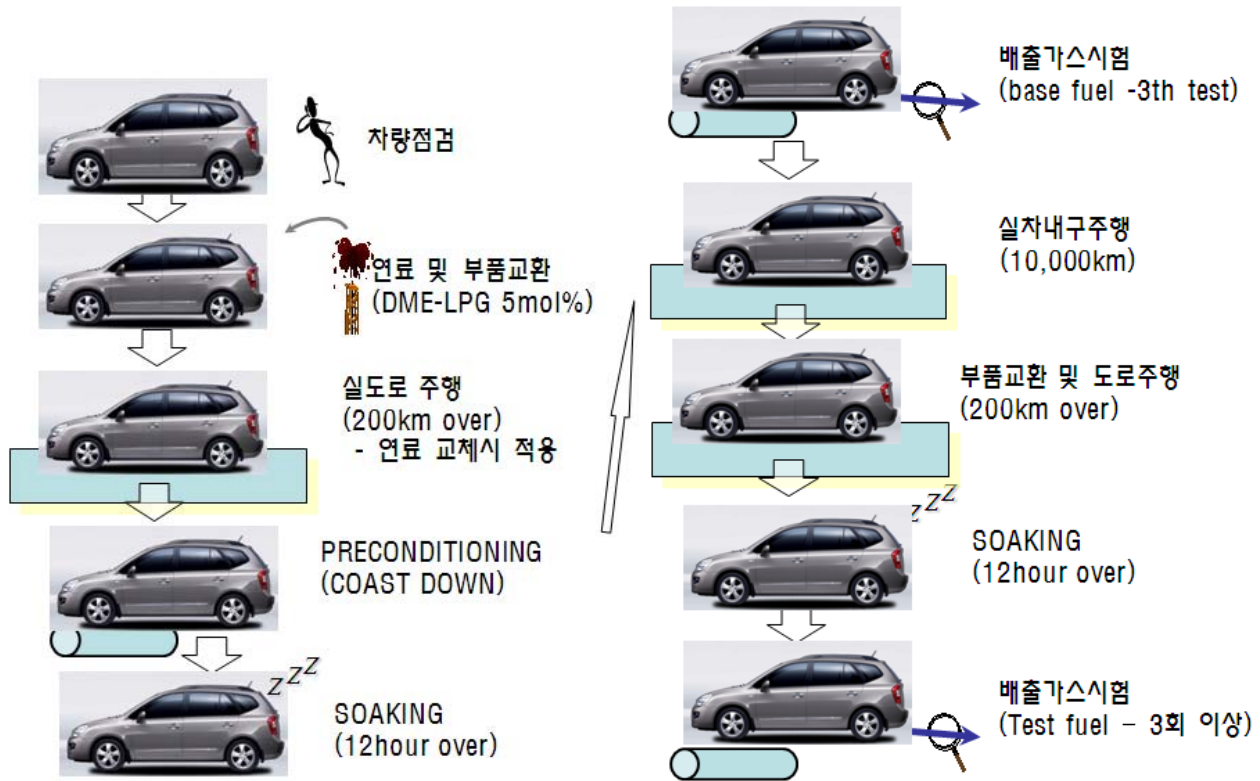


Fig. 2. Test procedure for vehicle performance and exhaust emissions.

정지되어 있고 모든 전기장치가 가동되지 않는 상태에서 12시간 이상 정차시킨 후(soaking) 차량의 시동을 걸지 않은 상태로 차대동력계실로 옮겨 CVS-75 모드로 운전을 실시하였다. CVS-75 모드 시험이 종료된 후에는 바로 HWFET 모드 시험을 수행하였다[16].

### 3. 결과 및 고찰

#### 3-1. DME-LPG 혼합연료 품질분석

본 연구에 사용된 DME-LPG 혼합연료는 총 5차레에 걸쳐 공급받았으며 각각에 대한 품질분석 결과를 Table 4에 나타내었다. 품질분석 결과 DME는 4.7-5.0 mol% 농도로 혼합되었고, DME 함량을 제외한 모든 품질 항목은 국내 법에서 규정하는 LPG 품질규격을 모두 만족하였다. 우리나라는 동절기에 LPG 차량의 시동성 향상을 위해 LPG 성분 중 C<sub>3</sub> 탄화수소(프로판) 함량을 25-35 mol%로 규정하고 있다. 따라서 차량 내구주행이 약 20개월간 진행되는 동안 세 번째 공급받은 DME-LPG 혼합연료는 동절기 용도로 프로판 함량을 조절하였다.

#### 3-2. 배출가스

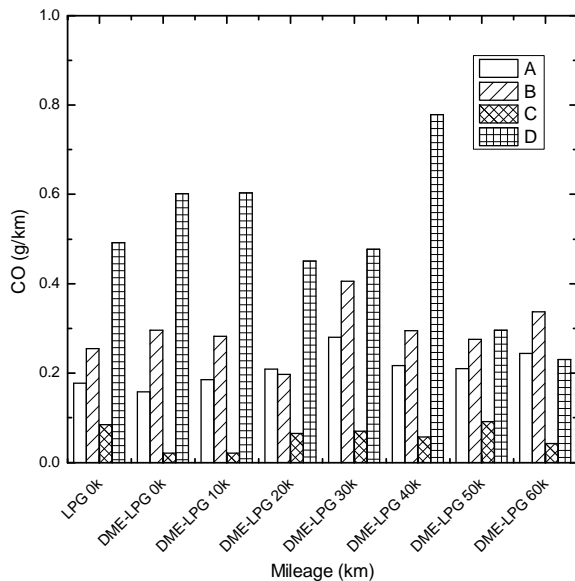
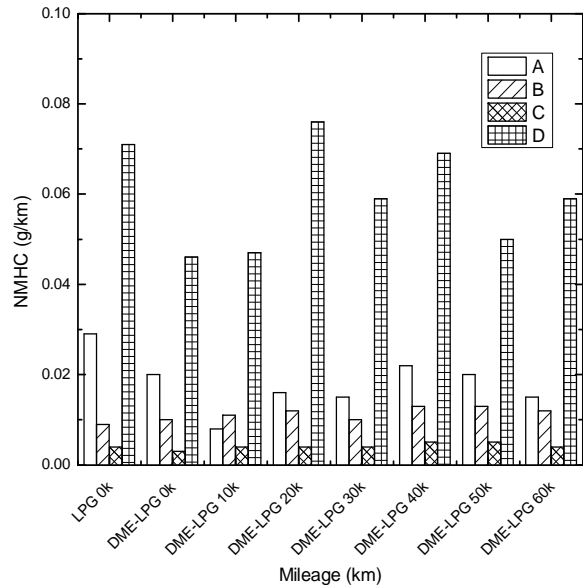
LPG 연료 공급방식에 따라 Table 3의 제원을 가진 4대의 시험용 차량에 DME-LPG 혼합연료를 사용하여 60,000 km까지 내구주행을 실시하면서 매 10,000 km 마다 유해 배출가스인 CO, NMHC(Non-methane hydrocarbon) 및 NO<sub>x</sub>를 CVS-75 모드로 측정하여 Fig. 3-5에 나타내었다. LPG 연료와의 상호 비교를 위하여 DME-LPG 혼합연료를 적용한 내구주행을 실시하기 전에 LPG 연료를 이용하여 바탕시험을 수행하였다.

각 시험용 차량의 누적 마일리지에 따른 배출가스는 Table 5에 나타낸 대기환경보전법 시행규칙 별표 17에서 규정하는 제작차 배출가스 허용기준을 모두 만족하여야 한다. DME-LPG 혼합연료를 사용한 각 차량의 내구주행 거리 증가에 따른 배출가스 측정값은 공히 허용기준에 모두 적합하였다. 각 차량의 운행거리가 증가할수록 배출가스가 조금씩 상승하는 경향을 보이기도 하였으나 배출가스 허용기준 범주 내에서의 편차로 순수 LPG 연료 대비 동등한 수준으로 판단된다.

CO는 엔진 연소과정에서 연료가 불완전연소 될 때 다량 발생하며 NMHC는 공급된 연료가 미연소되어

**Table 4.** Physical and chemical properties of DME-LPG blends used in the test

Item	Spec.		Test result					
	LPG No.2 (for automotive)		DME-LPG blends					
	summer	winter	1 <sup>st</sup>	2 <sup>nd</sup>	3 <sup>rd</sup>	4 <sup>th</sup>	5 <sup>th</sup>	
Composition (mol%)	C <sub>3</sub> Hydrocarbon	≤10	25-35	6.8	5.6	26.5	4.4	3.5
	C <sub>4</sub> Hydrocarbon	≥85	≥60	87.6	89.2	68.4	89.9	91.3
	DME	-		5.0	4.7	4.7	5.0	4.9
	Butadiene	≤0.5		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Sulfur (mg/kg)	≤40		6	6	5	5	5	
Vapor pressure (40 °C, MPa)	≤1.27		0.41	0.41	0.61	0.39	0.38	
Density (15 °C, kg/m <sup>3</sup> )	500-620		577	576	563	578	579	
Residue	≤0.05		<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	
Copper corrosion (40 °C, 1 hr)	≤1		1	1	1	1	1	

**Fig. 3.** CO emissions of DME-LPG blended fuel with increasing mileage.**Fig. 4.** NMHC emissions of DME-LPG blended fuel with increasing mileage.

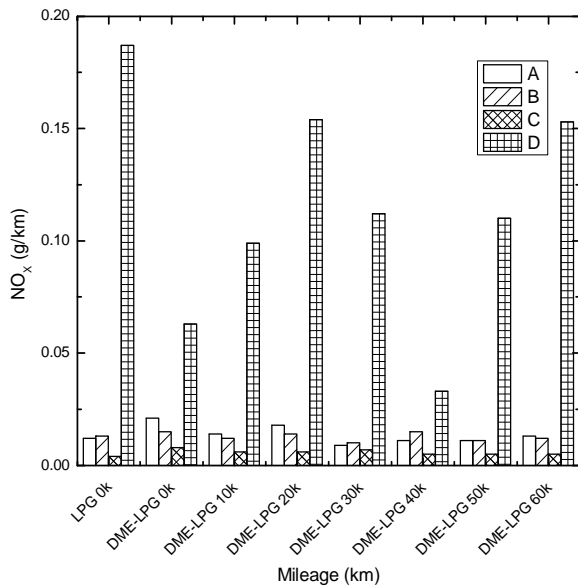
배출되는 탄화수소를 의미한다. DME는 분자구조상 산소를 함유하고 있기 때문에 연소과정에서 완전연소를 촉진시키는 역할을 하게 되므로 CO와 NMHC 배출량 증가에 영향을 주지 않는 것으로 사료된다.

연료의 연소특성이 향상되면 연소효율과 연소온도, 압력상승을 높여주게 되며 Thermal NO<sub>x</sub>가 증가될 수 있는 환경을 만들어 줌으로써 NO<sub>x</sub>가 증가된다고 알려져 있다. DME는 합산소연료로서 연소 촉진을 형성

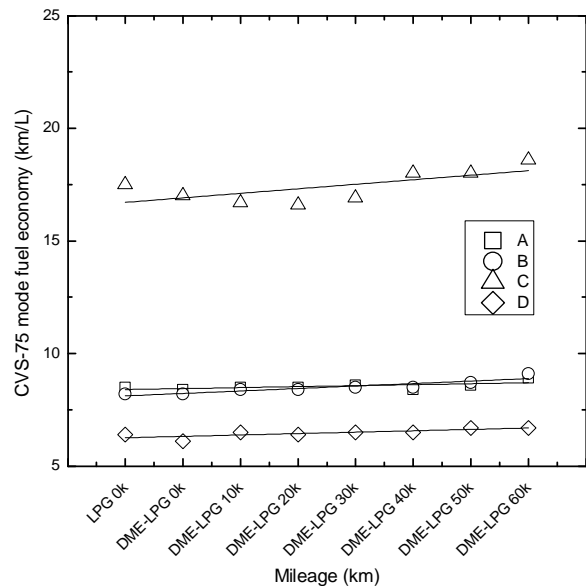
하여 연소온도가 높아져 NO<sub>x</sub>가 증가할 우려가 있으나 본 연구의 DME 혼합량은 5 mol%로 낮아 LPG 연료와 비교해 NO<sub>x</sub> 배출량에 큰 변화가 없었다. DME는 합성가스(syn gas)를 이용한 합성연료로서 질소나 황과 같은 불순물이 거의 없고[17], 또한 화합물 구조상 산소를 함유하고 있어 완전연소를 촉진시키므로 배출가스에 큰 영향을 미치는 않는 것으로 사료된다.

**Table 5.** Emission requirements of testing vehicle

Vehicle	A	B	C	D
CO (g/km)	2.61	1.31	0.625	3.11
NMHC (g/km)	0.097	0.034	0.00625	0.29
NO <sub>x</sub> (g/km)	0.37	0.044	0.0125	0.43



**Fig. 5.** NO<sub>x</sub> emissions of DME-LPG blended fuel with increasing mileage.



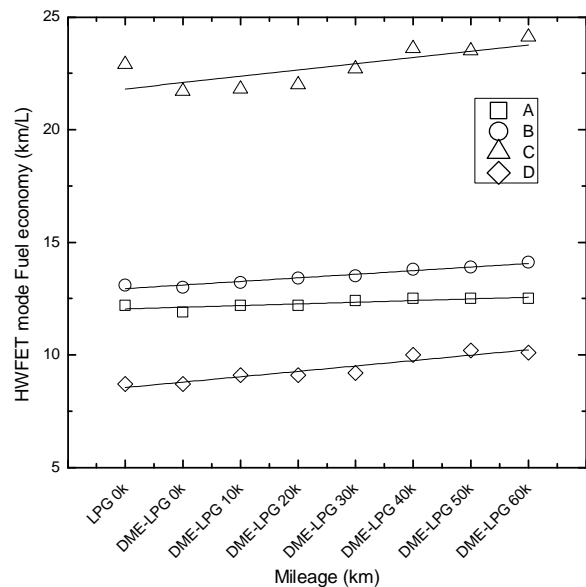
**Fig. 6.** Fuel economy of DME-LPG blended fuel on CVS-75 mode.

**3-3. 연료소비효율**

국내 제작자동차 연비인증 시험방법인 CVS-75 모드와 고속연비 측정 방법인 HWFET 모드를 이용하여 각 시험용 차량의 연료소비효율을 주행거리 매 10,000 km마다 측정하였다. CVS-75 모드와 HWFET 모드에 따라 측정된 배출가스 농도를 이용하여 국내 공인연비 산출법인 카본밸런스법에 의해 연료소비효율 구하였다. 연비산출 계산식은 다음과 같고, 그 결과를 Fig. 6-7에 나타내었다.

$$\text{에너지소비효율 (km/L)} = \frac{483 \text{ (g/L)}}{(0.827 \times \text{HC}) + (0.429 \times \text{CO}) + (0.273 \times \text{CO}_2)}$$

여기서 HC(미연탄화수소), CO, CO<sub>2</sub>는 측정된 배출가스 농도(g/km)를 나타낸다. DME의 발열량은 LPG의 63% 수준이고, LPG를 연료로 사용한 SI 엔진에서 연료가 갖추어야 할 주요한 특성인 옥탄가도 LPG의



**Fig. 7.** Fuel economy of DME-LPG blended fuel on HWFET mode.

1/3 정도로 매우 낮다. 따라서 DME-LPG 혼합연료는 동일한 양의 LPG 연료와 비교하여 연비의 저하가 예상된다. Lee 등에 의하면 DME 연료 혼합비율이 10% 이상 증가할수록 출력이 저하되고 노킹현상이 발생하며, 10% 정도의 범위에서는 100% LPG 연료를 사용하는 경우와 큰 차이가 없다고 보고되고 있다[13,14].

시험용 차량 A, B, C, D의 초기 출고 당시 CVS-75 모드로 인증받은 연료소비효율은 각각 8.6, 8.7, 17.8, 6.8 km/L로 DME-LPG 혼합연료를 사용하여 운행한 차량의 CVS-75 모드 시험결과인 Fig. 6과 비교하여 큰 차이 없이 동등한 수준으로 평가되었다. Fig. 7은 HWFET 모드를 사용하여 각 시험용 차량의 연료소비효율을 측정한 결과로 고속주행 모드이기 때문에 전체적으로 CVS-75 모드로 측정한 결과보다 높은 연료소비효율이 나타나고 있다. 또한 내구주행을 수행하는 동안 Fig. 6과 유사한 경향으로 연료소비효율이 변화함을 알 수 있었다.

DME와 LPG의 발열량은 각각 28.8과 46 MJ/kg이며, DME가 5 mol% 혼합된 DME-LPG 혼합연료의 발열량은 45.3 MJ/kg으로 LPG와 비교하여 약 1 MJ/kg 정도 줄어든다. 또한 DME와 LPG의 옥탄가(RON)는 각각 35.5와 95이며, DME가 5 mol% 혼합된 DME-LPG 혼합연료의 옥탄가는 LPG와 비교하여 계산적으로 약 2-3 정도 감소한다. 본 연구에서는 DME 연료 혼합량을 5 mol%로 제한하였으며, DME-LPG 혼합연료의 발열량과 옥탄가는 순수 LPG 연료와 비교해 차이가 미미한 수준으로 판단된다. 따라서 60,000 km 내구주행을 수행하는 동안 연료소비효율의 저하 없이 LPG 연료 대비 동등한 수준을 유지하였으며, 차량의 구조적인 변경없이 DME 5 mol%가 혼합된 DME-LPG 혼합연료 사용이 가능함을 확인하였다.

#### 4. 결론

LPG 연료 공급방식에 따라 국산 제작 LPG 자동차 4대에 대하여 차량의 구조적인 변경없이 DME가 5 mol% 혼합된 DME-LPG 혼합연료를 적용하여 차량 성능평가를 수행하였다. DME-LPG 혼합연료를 사용하여 총 60,000 km 내구주행을 수행하면서 매 10,000 km 마다 배출가스와 연료소비효율을 측정하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) DME-LPG 혼합연료를 적용한 차량의 내구주

행으로 주행거리 증가에 따른 유해 배출가스(CO, NMHC, NO<sub>x</sub>)를 측정한 결과 배출가스 허용기준을 모두 만족하였고, 순수 LPG 연료 대비 동등한 수준으로 평가되었다.

- (2) CVS-75 모드와 HWFET 모드로 연료소비효율을 측정한 결과 차량 초기 출고당시의 공인연비와 동등한 결과를 얻었으며, 주행거리 증가에 따라 연료소비효율의 저하가 발생하지 않았다.
- (3) DME가 5 mol% 혼합된 DME-LPG 혼합연료는 배출가스와 연료소비효율 면에서 순수 LPG 연료와 비교해서 큰 차이점 없이 동등한 수준을 유지하였으며, 차량의 구조적인 변경없이 사용이 가능할 것으로 판단된다.

#### 후 기

본 연구는 2009년 지식경제부 에너지자원기술개발사업인 “DME-LPG 혼합연료 적용 설비 및 차량에 대한 기술개발” 과제의 일환으로 수행되었으며 지원에 감사드립니다.

#### Reference

1. Semelsberger, T. A., Borup, R. L. and Greene, H. L.: “Dimethyl ether (DME) as an alternative fuel”, *J. of Power Sources*, Vol. 156, 497-511, (2006).
2. Arcoumanis, C., Bae, C., Crookes, R. and Kinoshita, E.: “The potential of di-methyl Ether (DME) as an alternative fuel for compression-ignition engines: A review”, *Fuel*, Vol. 87, 1014-1030, (2008).
3. Cho, W. J. and Kim, S. S.: “Current status and technical development for di-methyl ether as a new and renewable energy”, *J. Korean Ind. Eng. Chem.*, Vol. 20, 355-362, (2009).
4. Oguma, M., “DME standards update & Overview”, 6<sup>th</sup> International DME Conference, San Diego, (2014).
5. JIS K 2180-1, “Dimethylether for fuels”, Japanese Standard Association, (2013).
6. ASTM D7901, “Standard specification for dimethyl ether for fuel purposes”, ASTM International, (2014)



7. ISO 16861, "Petroleum products - Fuels (class F) - Specifications of dimethyl ether", International Organization for Standardization, (2015).
8. KS M 2078, "Determination of hydrocarbons and dimethyl ether (DME) in liquefied petroleum gases (LPG) and LPG-DME mixtures - Gas chromatography (GC)", Korean Agency for Technology and Standards, (2013)
9. Fleisch, T. H., Basu, A. and Sills, R. A.: "Introduction and advancement of a new clean global fuel: The status of DME developments in China and beyond", J. of Natural Gas Sci. and Eng., Vol. 9, 94-107, (2012).
10. Marchionna, M., Patrini, R., Sanfilippo, D. and Migliavacca, G.: "Fundamental investigations on di-methyl ether (DME) as LPG substitute or make-up for domestic uses", Fuel Process. Tech., Vol. 89, 1255-1261, (2008).
11. Marchionna, M.: "Behavior of mixture of dimethyl-ether (DME) and LPG", AEGPL Congress, May 13-15, Wien, Austria, (2009).
12. US patent 5,632,786: "Process and fuel for spark ignition engines", (1997).
13. Lee, S. H., Oh, S. M., Choi, Y., Kang, K. Y., Choi, W. H. and Cha, K. O.: "The effect of n-butane and propane on performance and emissions of a SI engine operated with LPG/DME blended fuel", Transactions of KSAE, Vol. 17, 35-42, (2009).
14. Lee, S. H., Oh, S. M., Kang, K. Y., Choi, W. H. and Cha, K. O.: "Performance and emissions of a SI engine operated with LPG-DME blended fuel", Transactions of KSAE, Vol. 16, 175-182, (2008).
15. Youn, J. M., Park, C. K., Yim, E. S. and Jung, C. S.: "Determination method of hydrocarbon compounds in DME-LPG blending fuels by gas chromatography with Deans switching", Korean Chem. Eng. Res., Vol. 50, 353-357, (2012).
16. Baek, Y. S.: "Development of technology on the facilities and vehicles for application of DME-LPG mixture fuels", MOTIE, (2011).
17. Azizi, Z., Rezaeimanesh, M., Tohidian, T. and Rahimpour, M. R.: "Dimethyl ether: A review of technologies and production challenges", Chem. Eng. & Process., Vol. 82, 150-172, (2014).