



## 시험온도에 따른 LPG 차량의 저온 시동성 및 배출가스 배출특성 연구

†이민호 · 김성우 · 김기호 · 하종한

한국석유관리원 석유기술연구소

(2014년 10월 13일 접수, 2014년 12월 12일 수정, 2014년 12월 13일 채택)

### A Study on the Cold Startability and Emission Characteristics of LPG Vehicle According to Test Temperature

†Min-Ho Lee · Sung-Woo Kim · Ki-Ho Kim · Jong-Han Ha

Research Institute of Petroleum Technology, Korea Petroleum Quality & Distribution Authority, 33, Yangcheong 3-gil, Ochang-eup, Cheongwon-gu, Cheongju-si, Chungcheongbuk-do, 363-883, Korea

(Received October 13, 2014; Revised December 12, 2014; Accepted December 13, 2014)

#### 요 약

국내·외에서 대기 오염에 대한 관심은 높은 편이며, 자동차 및 연료 연구자들은 깨끗한(친환경 대체연료) 연료와 연료 품질에 맞춘 새로운 엔진 설계의 구성, 혁신적인 후처리 시스템 등의 접근을 통하여 차량의 배기가스 배출을 줄이려고 노력하고 있다. 이러한 연구는 다음과 같은 다양한 주요 이슈를 가져오게 된다. PM 배출량이 디젤과 가솔린 차량에 대해 규제해야 하는지 여부와 가솔린 및 LPG 차량이 PM 배출가스 규제에서 무시될 수 있는지 여부이다. 마지막으로 온실 가스(CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O) 규제가 자동차 배출 규제를 포함하여 논의의 것 등이다. 자동차의 온실 가스 및 배출가스(PM)는 환경오염, 건강 악영향 등의 원인으로 많은 문제점을 일으키게 된다. 본 논문에서는 자동차 저온 시동성 및 배출가스에 대해 LPG 연료의 영향을 논의하였다. 또한 본 논문은 시험 온도에 대한 배출가스 특성을 평가하였다. 이때의 시험온도는 시험모드 상의 온도와 국내 겨울철 최저온도를 기준으로 나누어서 실시하였다. 본 연구를 통해 시동성 및 배출가스, 온실가스 배출의 상관관계를 분석하고자 하였다.

**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 various main issues : whether PM emissions should be regulated for diesel and gasoline vehicles and whether gasoline and LPG powered vehicles can be further neglected from PM emission inventories. Finally, the greenhouse gas (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O) regulation has been discussed including automotive emission regulation. The greenhouse gas and emissions (PM) particle of automotive had many problem that cause of ambient pollution, health effects. This paper discussed the influence of LPG fuel on automotive cold startability and exhaust emissions gas. Also, this paper assessed emission characteristics due to the test temperature. These test temperature were performed by dividing the temperature of the test mode and the lowest local temperature in winter. Through this study, the correlation of cold startability, exhaust emission and greenhouse gas emission was analyzed.

**Key words** : LPLi (Liquid phase LPG injection), Greenhouse Gas (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O), Emissions Gas (THC, CO, NOx, PM number etc.), Test Mode : FTP-75 (city driving) mode

†Corresponding author:lice92@kpetro.or.kr

## I. 서론

자동차 공해를 저감하기 위한 노력은 ULEV와 SULEV, EURO V, VI 등의 배출가스 규제와 함께 CO<sub>2</sub>를 저감하기 위한 연비 규제도 단계적으로 강화되고 있는 실정이다. 이러한 배출가스 규제와 연비 개선이라는 목적에 대응하기 위한 연구가 신형식 엔진 기술의 개발과 청정 대체연료의 사용 분야로 진행되고 있다.

청정연료로는 천연가스, LPG[1,2], 알코올, DME 등이 있는데, 연료자체의 청정성, 공급 가능량, 사용의 편의성, 대체비용 등을 복합적으로 고려해서 주위 환경의 조건에 따라 선별적으로 실용화 보급되고 있는 실정이다. 이중 LPG는 70년 동안 차량의 연료로서 사용되고 있고, 현재 사용하고 있는 기관을 크게 개조하지 않고도 유해 배출물을 저감할 수 있는 대체연료 기술로서 받아들여지고 있다.

LPG 자동차 엔진은 가솔린 엔진과 동일한 연소 방식 (Spark ignition)을 채용하고, 후처리 장치로 삼원촉매를 장착하고 있기 때문에 경유차에 비해 우수한 저공해화가 가능하며 연소특성이 좋은 청정연료로서 국내에서 많이 적용되어 사용하고 있다. 경유 자동차를 LPG 자동차로 개조하는 환경사업도 적극적으로 진행되고 있는 중이다. 또한 지구온난화의 주범으로 문제시되고 있으며 관심이 고조되고 있는 자동차 CO<sub>2</sub> 배출도 저감할 수 있는 것으로 알려져 있다. 그리고 세계적으로 크게 강화되고 있는 배출가스 규제를 만족하기 위한 기술로 LPLi (Liquid phase LPG injection)[3,4]이 개발되어 적용된 차량이 시중에 보급되어 경제적으로나 환경적으로 많은 이득을 얻고 있는 실정이다.

하지만, 이러한 기술들의 발전에도 불구하고 EURO-5b 규제부터 적용되고 있는 PM의 입자개수에 대한 규제는 경유 및 가솔린 자동차 뿐만 아니라 LPG 자동차에서도 고려되어야 되는 문제점을 가지고 있다. 발표되고 있는 논문 및 연구결과 등에서도 DPF를 장착한 경유 자동차와 가솔린, LPG 자동차의 PM 입자개수가 유사한 수준을 보이고 있어서 앞으로 개선해야 될 문제점으로 지적되고 있다. 또한 LPG 차량의 가장 큰 문제점은 겨울철에 대두되었던 저온 시동 및 주행 문제이며, 이는 배출가스를 증가시킬 수 있는 여지를 가지고 있다고 할 수 있다.

위의 문제점을 사전에 검토하고 해결책을 연구해 보고자 본 논문에서는 차세대 기술인 LPLi를 적용한 자동차를 통해 환경조건인 온도 조건 (하절기 35 °C, 시험모드 25 °C, -7 °C, 동절기 평균온도 -15 °C, 동절기 최저온도 -25 °C, 기타 0 °C)에 따른 저온 시동성

및 배출가스, 온실가스 배출 특성을 확인하여, LPG 차량의 배출가스 저감 기술을 개발하는데 도움이 되고자 하였다.

## II. 시험장치 및 방법

### 2.1. 시험용 차량

시험에 사용된 차량은 국내에서 판매량이 많은 1600 cc와 2000 cc급 자동차를 선정하였다. 시험에 사용된 차량의 제원은 Table 1과 같다.

### 2.2. 시험장치 및 방법 (주행모드, 온도조건)

주행모드 및 온도조건에 따른 차량 배출가스를 측정할 수 있는 저온 차대동력계 및 배출가스 분석장치, FT-IR 분석기, PM 입자측정 장치 등 측정 장비의 전체적인 개략도를 Fig. 1에 나타내었다. 차량 시험은 해당 주행모드 및 온도조건으로 운전하고 주행속도별 실시간 차량 데이터를 획득하였으며, 배출가스가 담긴 포집백 분석을 통하여 최종 결과를 분석하였으며, 동시에 배출가스 및 PM 입자, 미규제 물질 측정을 CVS 및 배출가스분석기 (MEXA-7series), FT-IR 분석기, PM 입자측정 장치로 수행하였다. 시험에 사용된 주행모드는 가솔린 / LPG 차량의 배출가스 / 연비 시험모드인 FTP-75 모드를 사용하였다. 본 논문의 차량 시동성 및 배출가스 시험은 3회 이상의 시험을 통하여 정확한 결과를 얻고자 하였다.

### 2.3. 시험용 연료

Table 2는 시험에 사용된 연료의 물성 측정 결과를 나타낸 것이다. 시험에 사용된 LPG 연료는 자동차 연료제조 기준과 비교하여 전 항목에서 적합한 연

Table 1. Specifications of test vehicles

Vehicle	Vehicle A	Vehicle B
Engine type	Inlined spark-ignited 4 stroke 4 cylinder	
Valve mechanism	DOHC type	DOHC - CVVT type
Fuel supply type	Liquid phase LPG Injection	
Displacement	1,591 cc	1,998 cc
Max. Power	120 ps / 6,000 rpm	144 ps / 6,000 rpm
Max. Torque	15.5 kg-m / 4,500 rpm	19.3 kg-m / 4,250 rpm
Intake charging	Naturally aspirated	
Emission device	Catalytic converter, Lambda sensor	

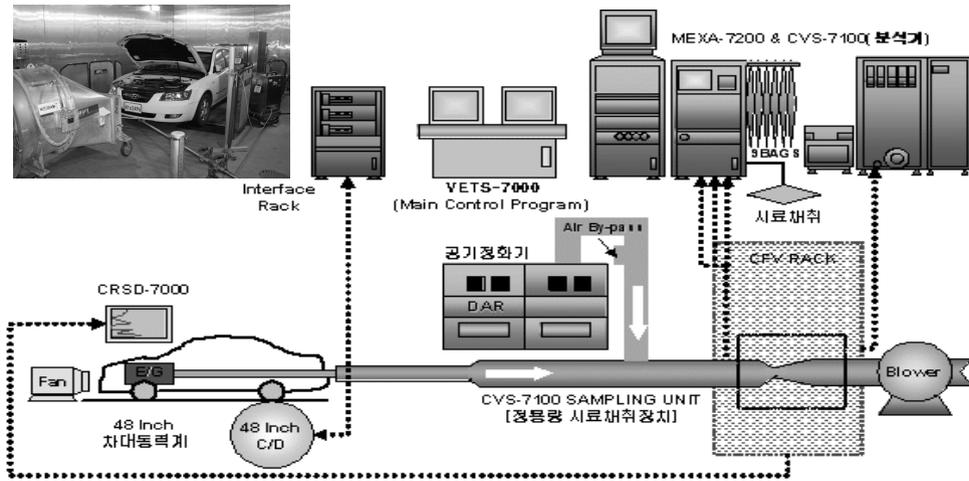


Fig. 1. Schematic diagram of vehicle emission and fuel economy measurement system.

Table 2. Comparison of test fuel property

Item	Sample	Quality Standard		C3 5%	C3 15%	C3 25%	C3 35%
		Summer	Winter				
Propane content (mol, %)	C3	10 ↓	15 ↑ 35 ↓	5	16	25	35
	C4	85 ↑	60 ↑	94	83	73	64
	buta-diene	0.5 ↓		Non	Non	Non	Non
Sulfur (ppm)		40 ↓		14	14	15	14
Vapor pressure (40°C, MPa)		1.27 ↓		0.39	0.49	0.59	0.70
Density (15°C, kg/m <sup>3</sup> )		500 ~ 620		573	567	560	551
Copper corrosion (40°C, 1 hour)		1 ↓		1	1	1	1
100ml Residue (ml)		0.05 ↓		0.01 under	0.01 under	0.01 under	0.01 under

료를 사용하였으며, 온도 변화에 따른 시험을 진행하기 위하여 프로판 함량을 변화시켰다. 프로판 함량은 현행 기준 하절기 10 mol% 이하, 동절기 35 mol% 이하 이내에서 설정하여 5 mol%, 15 mol%, 25 mol%, 35 mol%로 정하였으며, 배출가스 변화의 주요원인 중 하나인 황 함량도 15 ppm으로 정하였다.

시험모드 (FTP-75 mode)의 온도변화에 따른 시험

을 위해서는 겨울철 기준에 맞춘 프로판 (30 mol%)과 황 함량 (5 ppm)을 가진 동일한 연료를 사용하여 시험을 진행하였다.

### III. 결과 및 고찰

#### 3.1. 시험 온도 변화에 따른 차량 시동성 결과

환경챔버 온도 조건을 -5 °C, -15 °C, -25 °C로 설정하여 Soaking 한 결과 Soaking 온도와 시험 전 온도는 다소 차이가 있지만 -5 °C, -17 °C, -27 °C의 온도를 나타내었다.

Table 3은 시험차량의 저온 시동성 시험 결과를 나타낸 것이다. 프로판 (C3) 5 mol% 연료는 -5 °C와 -17 °C의 온도조건 모두에서 원활한 시동이 이루어졌으며, C3 15 mol%, 25 mol%, 35 mol% 연료도 마찬가지로 -17 °C와 -27 °C 온도 조건에서 원활한 시동이 이루어졌다. 시동을 위한 크랭킹 시간으로 미루어 볼 때 모든 조건에서 3초 이하의 크랭킹 시간을 갖은 후 시동이 이루어져 시동이 원활하게 이루어져 큰 차이가 없음을 알 수 있다.

LPLi 차량의 장점중 하나로 알려져 있는 우수한 저온 시동성은 기존 Mixer type 및 LPG에서 필요한 기화기 (Vaporizer)가 없다는 점에서 찾을 수 있다. LPLi 연료공급 시스템은 인젝터 분사 전 액체로 이루어져 있으며 연료탱크의 펌프로 약 5 ~ 10bar로 가압되어 분사된다. 때문에 LPLi 타입은 Mixer 타입의 기화에 필요한 온도조건이 불필요하기 때문에 매우 낮은 온도조건에서도 저온 시동성이 양호하다. 또한 LPG 액상 연료의 특성상 어는점 (녹는점) (n-bu-

**Table 3.** Results of cranking test in low temperature

Soak Temp.	C3 rate	C3 5 mol%	C3 15 mol%	C3 25 mol%	C3 35 mol%
-5 °C		○	-		
Cranking time (Sec)		2.5 ~ 3.0			
-17 °C		○	○	○	○
Cranking time (Sec)		1.0 ~ 1.5	1.5 ~ 2.0	1.5 ~ 2.0	1.0 ~ 1.5
-27 °C		-	○	○	○
Cranking time (Sec)		-	1.5 ~ 2.0	2.0 ~ 2.5	2.5 ~ 3.0

주) ○ : 시동이 원활히 됨, - : 시험 필요성이 없어 실시하지 않음

tane : -138 °C, isobutane : -159 °C, propane : -189.9 °C @ atm)이 극저온으로 액체 상태의 LPG가 고체 상태로 상 변화하는 조건이 나타나기는 현실적으로 불가능하기 때문에 LPLi의 저온시동성이 원활이 이루어진 것으로 판단할 수 있다.

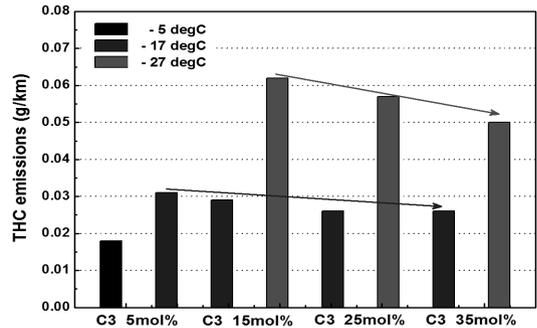
### 3.2. 시험 온도와 프로판 함량 변화에 따른 배출 가스 결과

각 온도 조건별 저온 시동성 시험이 종료된 후 동일한 온도조건 하에서 FTP모드를 이용하여 측정된 배출가스 배출량을 Fig. 2에 나타내었다.

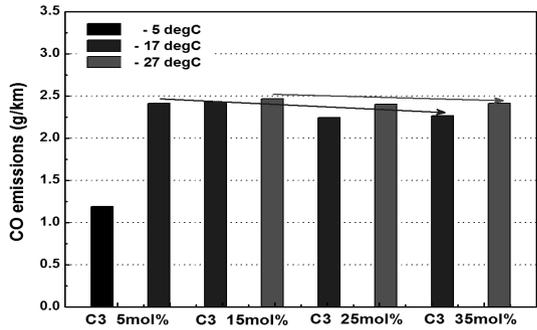
온도별 차이에 따라서 전체 배출가스가 증가하여 나타나는 것을 볼 수 있으나, NOx는 온도가 낮아짐에 따라 증가하기는 하지만 절대 값의 차이는 적은 것을 알 수 있다. C3 5 mol%는 -5 °C에서 -17 °C의 온도조건으로 낮아질 때 THC는 약 72 %, CO는 약 102 % 증가하였으며, C3 15 mol%, 25 mol%, 35 mol%는 -17 °C에서 -27 °C로 낮아질 때 THC는 약 114 %, 119 %, 92 %, CO는 1.7 %, 6.7 %, 6.4 % 증가하여 온도감소에 따라 뚜렷한 증가 경향을 보였다.

프로판 함량별 배출가스의 변화를 살펴보면 프로판 함량이 증가됨에 따라 각 온도조건에서 THC는 낮아지는 경향이 뚜렷하게 보였다. 하지만, CO와 NOx는 감소하는 경향은 동일하나, 절대 값의 차이가 뚜렷하지 않은 것을 볼 수 있다. -17 °C에서 C3 5 mol%의 THC 배출량을 기준으로 C3 15 mol%, 25 mol%, 35 mol%는 6.5 %, 16.1 %, 16.1%의 감소율을 보였으며, -27 °C에서 C3 15 mol%의 THC 배출량을 기준으로 C3 26 %, 35 mol%는 8.0 %, 19.4 %의 감소율을 나타내었다.

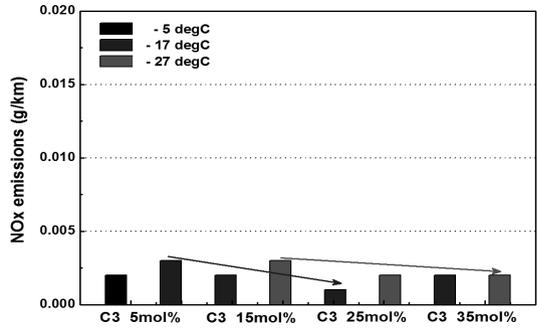
위의 결과를 통하여 LPG 연료의 프로판 함량이



(a) THC emission



(b) CO emission



(c) NOx emission

**Fig. 2.** Emission results according to test temperature and propane rate.

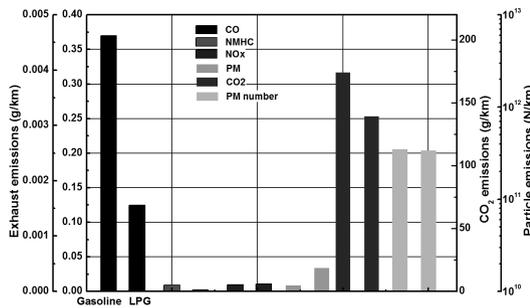
증가할수록 저온에 더 적합한 연료라는 것을 알 수 있었고, 국내 연료품질 기준을 여름철과 겨울철로 구분하게 된 이유가 더 뚜렷해진 결과라 할 수 있다.

Table 4는 온도변화와 프로판 함량 변화에 따른 시험 결과를 본 연구에 사용된 시험차량과 기존의 다른 연료공급 방식을 적용한 차량 시험결과를 비교하여 나타낸 것이다. LPLi 차량의 배출가스 결과를 종합해 볼 때 온도 조건에 따른 THC 및 CO 배출가스의 증가 경향이 뚜렷하고, 같은 온도 조건하에서

**Table 4.** Emission results of test temperature and propane rate

Vehicle	Temperature ↓			Propane content ↑		
	THC	CO	NOx	THC	CO	NOx
LPLi	↑↑	↑↑	↑	↓↓	↓	↓
LPGi	-	-	-	×	↓↓	↑↑
Mixer	-	-	-	↑	×	↓↓

주) ↑↑ : 증가경향 뚜렷  
 ↑ : 증가경향을 보이나 절대값 차이 미미 또는 선형적 경향 불투명  
 ↓↓ : 감소경향 뚜렷  
 ↓ : 감소경향을 보이나 절대값 차이 미미 또는 선형적 경향 불투명  
 × : 결과값의 차이는 있으나 증감경향 없음  
 - : 시험결과 없음



**Fig. 3.** Comparison of Emission results (Gasoline T-GDI / LPG LPLi vehicle)

연료공급방식에 따른 프로판 함량별 배출가스 경향은 다르게 나타나는 것을 볼 수 있다.

### 3.3. 가솔린과 LPG 차량 배출가스 결과 비교

Fig. 3은 LPG 시험 차량의 상태를 확인하기 위하여, FTP-75 모드에서 동급(1600 cc) 가솔린(T-GDI 엔진) 차량과 LPG(LPLi 엔진) 차량의 배출가스와 온실가스 결과를 비교하여 나타낸 것이다.

CO, NMHC, CO<sub>2</sub>에 있어서는 청정연료인 LPG 차량이 가솔린 차량에 비해 적게 배출되고 있는 것을 볼 수 있는데 반해, NO<sub>x</sub>와 PM 입자 개수는 동일한 경향을 보이고 PM 중량에 있어서는 LPG가 높게 나오고 있다.

LPG 청정연료의 특성에 의해 LPG LPLi 차량이 가솔린 T-GDI 차량보다 대체적으로 배출가스 및 온실가스등에서 좋은 것을 볼 수 있다. 하지만, 직접분

사엔진(GDI)의 문제점으로 대두되고 있는 PM과 PM 입자개수는 LPG LPLi 차량이 GDI 차량보다 많이 배출되고 있는 것을 볼 수 있다. 이러한 결과는 연료 특성과 공급방식에 따른 결과라고 보기보다는 시험차량 자체의 특성에 의한 것으로 생각된다. 그렇지만, LPG 차량의 PM 무게 및 개수가 EURO 6 규제 치에 근접하고 있어 이에 대한 대책이 향후에 필요할 것으로 보인다.

### 3.4. 동일모드에서 시험온도에 따른 배출가스 결과 비교

Fig. 4는 LPG 차량에 대하여 환경조건(온도) 변화에 따른 배출가스와 온실가스, 미규제 물질의 결과를 나타낸 것이다. LPG 차량에 대한 결과를 살펴보면, 기존 연구의 가솔린 차량 경향과 대부분 유사한 점을 볼 수 있는데, 이러한 이유는 연료의 연소특성에 따른 것으로 볼 수 있다. 또한 LPG 차량도 온도가 고온에서 저온으로 갈수록 PM과 BTX를 제외한 모든 배출가스 및 온실가스, 미규제 물질이 증가하는 경향을 가지고 있는 것을 볼 수 있다. CO, NMHC, NO<sub>x</sub> 배출가스 규제 항목은 규제 값 대비 모든 온도조건에서 만족을 하고 있으며, PM도 고온에서 저온으로 갈수록 감소하거나 유사한 경향을 가지는 하지만, 규제 값보다 적을 것을 알 수 있다. 특히, PM 입자 개수에 있어서는 가솔린 MPI 수준의 배출 경향을 보이고 있다.

CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> 측정 항목은 온도 변화가 고온에서 저온으로 갈수록 증가하는데, 전체적으로 큰 변화 없이 가솔린 T-GDI 차량 보다는 적게 배출하고 있는 것을 볼 수 있다. 이러한 결과는 연료 특성과 연소방식에 따른 것으로 청정연료인 LPG가 CO<sub>2</sub>를 적게 배출하고 있음을 볼 수 있다. 연료 중에 포함되어 있는 C의 분자 개수에 따라 CO<sub>2</sub>가 적게 배출하고 있음을 알 수 있다. CH<sub>4</sub>는 온도 감소에 의해 크게 증가하는 것을 볼 수 있는데, 이러한 이유는 저온에서 연료가 연소됨에 따라 미연소 연료가 배기로 바로 방출되기 때문이며, N<sub>2</sub>O의 경우에는 차량마다 편차를 보이는 하지만 뚜렷한 배출경향을 볼 수 없었다.

미규제 물질의 경우 각각 틀린 경향을 보이고 있는데, 포름알데히드의 경우에는 온도 감소로 인해 증가하다가 -7 °C에서 감소하는 경향을 가지며, BTX 또한 저온으로 갈수록 전체적으로 증가하다가 다시 감소하는 경향을 가진다. 배출결과는 가솔린 차량(MPI & GDI)보다 낮은 값을 가진다. 미규제 물질에 대한 LPG 차량의 온도 특성은 약간의 차이가 있지만 대체적으로 유사한 경향을 가지며, 저온으로 갈수록 증가하는 경향은 모든 배출가스 및 온실가스와

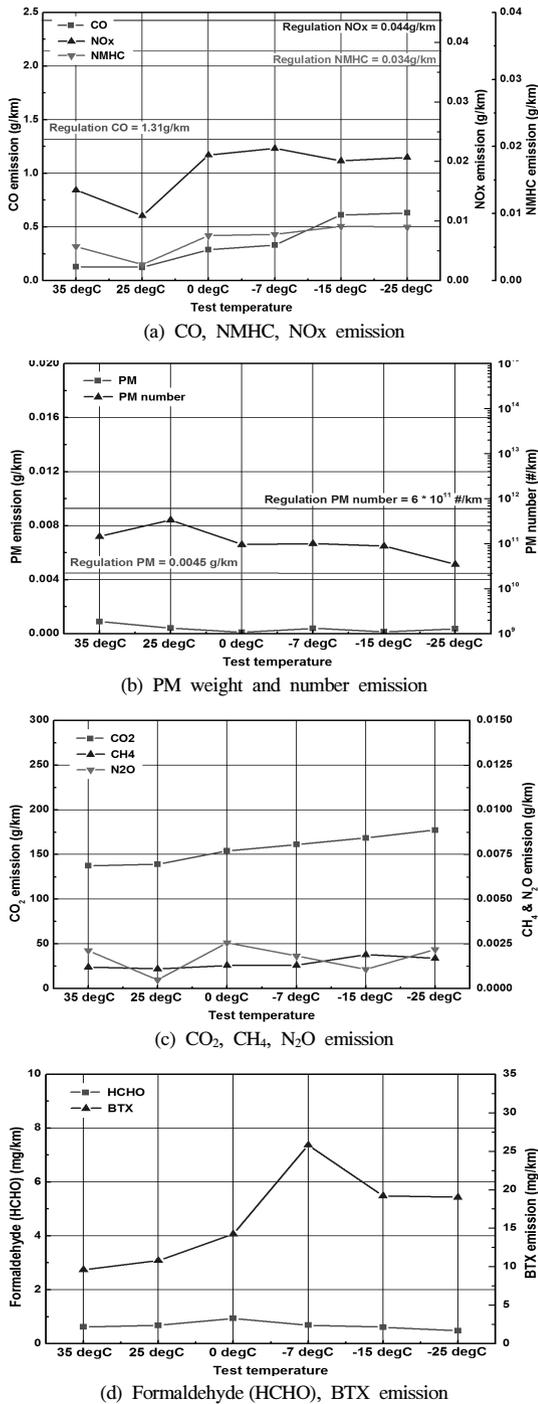


Fig. 4. Emission results according to test temperature

동일한 경향을 가지고 있다. 배출가스 및 온실가스, 미규제 물질 결과를 가지고 해석해 보면 온도 감소에 따라 차량 운전시 배출되는 배출가스에 대한 저감 대책을 강구할 필요가 있다고 할 수 있다.

#### IV. 결론

차세대 기술인 LPLi를 적용한 자동차를 통해 환경조건인 온도 조건에 따른 저온시동성 및 배출가스, 온실가스 배출 특성을 확인한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 프로판(C3) 함량 5 mol% 함유 연료는 -5 °C와 -15°C 온도 조건, 15 mol%, 25 mol%, 35 mol% 함유 연료는 -17 °C와 -27 °C 온도 조건에서 원활한 시동이 이루어졌으며, 시동을 위한 시간이 모든 조건에서 3초 이하를 갖고 있어 저온시동성에는 큰 차이가 없음을 알 수 있었다.

(2) 배출가스 결과를 종합해 볼 때 온도 조건에 따른 THC 및 CO 배출가스의 증가 경향이 뚜렷하나, NOx는 온도가 낮아짐에 따라 증가하기는 하지만 절대 값의 차이는 적은 것을 알 수 있다. 또한 프로판 함량별 결과에서도 프로판 함량이 증가됨에 따라 THC는 낮아지는 경향이 뚜렷하게 보였다. 하지만, CO와 NOx는 감소하는 동일한 감소 경향을 볼 수 있었다. 위의 결과는 LPG 프로판 함량이 증가할수록 저온에 더 적합한 연료라는 것을 알 수 있다.

(3) PM과 PM 입자개수는 LPG LPLi 차량이 GDI 차량이 많이 배출되고 있는데, 이러한 결과는 연료 특성과 공급방식에 따른 결과라고 보기보다는 시험 차량 자체의 특성에 의한 것으로 생각된다.

(4) LPG 차량의 배출가스 결과는 가솔린 차량과 유사한 점을 볼 수 있는데, 이러한 이유는 연료의 연소특성이 동일하기 때문으로 생각된다. LPG 차량은 PM과 BTX를 제외하고, 저온일수록 모든 배출가스 및 온실가스, 미규제 물질이 증가하는 경향을 가진다. PM 입자개수에 있어서는 가솔린 MPI의 수준의 배출 경향을 보이고 있고, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> 측정 항목은 가솔린 차량 보다 적게 배출하고 있는 것을 볼 수 있는데, 이러한 결과는 청정연료인 LPG의 연소특성에 의한 것으로 생각된다.

#### 감사의 글

본 연구는 환경부 · 오토오일위원회에서 시행한 오토-오일 사업의 일환으로 수행되었으며, 본 지원에 감사를 드립니다.

## REFERENCES

- [1] T. A. Fauzi Soelaiman, et al. "Use of LPG to Obtain Cleaner Fuel for the Environment and to Control Knock in SI Engine", The 13th International Pacific Conference on Automotive Engineering, 56-61, 2005
- [2] Hokil Lee, et al. "The Correlation Analysis of CO<sub>2</sub> Emission and Fuel Economy for LPG Vehicles", KSAE08-S0101, KSAE spring conference, 2008
- [3] Jong-Hun Lim, et al. "LPLi engine performance and vehicle exhaust emission characteristics", Transactions of KSAE, Vol. 11, No. 4, pp.15-21, 2003
- [4] Woojik Lee, et al. "Development of HMC Mono LPG Injection System", KSAE04-S0026, KSAE spring conference, 2004
- [5] Han, S.B., Y.T. Kim, H.K. Lee, J.H. Kang, and Y.J. Chung, "Characteristics Analysis of Exhaust Emission according to Fuels at CVS-75 Mode", Journal of Energy Engineering, 18(1), 69-73, 2009