



다양한 시험모드와 환경조건에 따른 LPG 차량의 배출특성 연구

†이민호 · 하종한*

*한국석유관리원 석유기술연구소

(2015년 6월 3일 접수, 2015년 7월 23일 수정, 2015년 7월 24일 채택)

A Study on the Emissions Characteristics of a LPG Vehicle According to Various Test Modes and Ambient Conditions

†Min-Ho Lee · 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 June 3, 2015; Revised July 23, 2015; Accepted July 24, 2015)

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 규제가 자동차 배출 규제를 포함하여 논의의 것 등이다. 자동차의 온실 가스 및 배출가스는 환경오염, 건강 악영향 등의 원인으로 많은 문제점을 일으키게 된다. 다양한 차량 시험모드 및 환경조건에 기초하여, 본 논문에서는 배출가스와 온실가스에 대한 LPG 차량의 특성을 논의하였다. 또한 본 논문은 시험 온도에 대한 배출가스 특성을 평가하였다. 이때의 시험온도는 시험모드 상의 온도와 국내 겨울철 최저온도를 기준으로 나누어서 실시하였다. 본 연구를 통해 시험모드 및 환경조건, 배출가스, 온실가스의 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 regulation has been discussed including automotive emission regulation. The greenhouse gas and emissions of automotive had many problem that cause of ambient pollution, health effects. Based on various test modes and ambient conditions, this paper discusses the characteristics of LPG on exhaust emissions and greenhouse gases. 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 vehicle test mode and ambient condition, exhaust emission, greenhouse gas emission was analyzed.

Key words : LPLi (Liquid phase LPG injection), Test mode (5-cycle (FTP and SFTP) mode, NEDC, WLTP mode), Greenhouse gas (CO₂, CH₄, N₂O), Emissions gas (THC, CO, NO_x, PM number etc.)

†Corresponding author:lice92@kpetro.or.kr

Copyright © 2015 by The Korean Institute of Gas

I. 서론

자동차 공해를 저감하기 위한 노력은 ULEV와 SULEV, EURO V, VI 등의 배출가스 규제와 함께 온실가스를 저감하기 위한 연비 규제도 단계적으로 강화되고 있는 실정이다. 이러한 배출가스 규제와 온실가스 감소, 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 연소방식(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 환경사업[3]도 적극적으로 진행되고 있는 중이다. 또한 지구온난화의 주범으로 문제시되고 있으며 관심이 고조되고 있는

자동차 CO₂ 배출도 저감할 수 있는 것으로 알려져 있다[2]. 그리고 세계적으로 크게 강화되고 있는 배출가스 규제를 만족하기 위한 기술로 LPLi(Liquid phase LPG injection)[4,5]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 저온에서의 시동성 및 주행성 악화 문제이며, 이는 배출가스를 증가시킬 수 있는 여지를 가지고 있다고 할 수 있다[6,7].

이에 본 논문에서는 차세대 기술인 LPLi를 적용한 차량에 대해 다양한 시험모드와 환경조건인 온도 조건(하절기 35℃, 시험모드 25℃, -7℃, 동절기 평균온도 -15℃, 동절기 최저온도 -25℃, 기타 0℃)에 따른 배출가스 및 온실가스 배출특성을 확인하여, LPG 차량의 배출가스 저감 기술을 개발하는데 도움이 되고자 하였다.

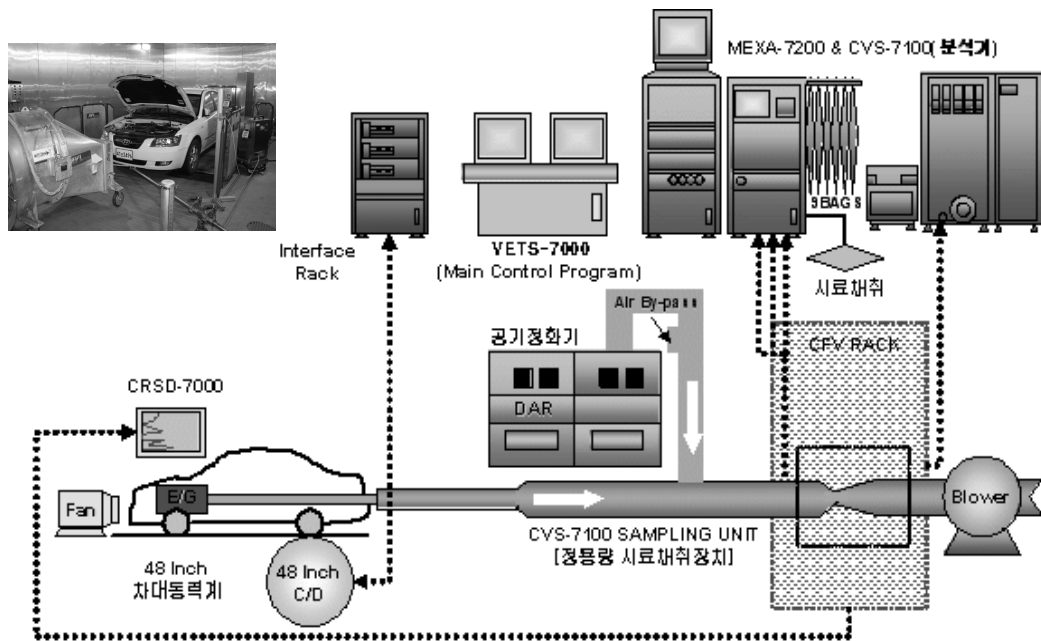


Fig. 1. Schematic diagram of vehicle emission and fuel economy measurement system.

II. 시험장치 및 방법

2.1. LPLi 시험 차량

시험에 사용된 차량은 국내에서 판매량이 많은 1600 cc급 자동차를 선정하였으며, 주행거리는 1만 km 이하의 차량이었다. 차량제원은 Table 1과 같다.

2.2. 시험장치 및 방법 (시험모드, 온도조건)

차량 시험모드 및 환경(온도) 조건에 따른 배출가스를 측정할 수 있는 저온 차대동력계 및 배출가스 분석 장치, FT-IR 분석기, PM 입자측정 장치 등 측정 장비의 전체적인 개략도를 Fig.1에 나타내었다.

Table 1. Specifications of test vehicles

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

Table 2. Comparison of test fuel property

Item	Sample	Quality Standard		Result (Winter)	Test method
		Summer	Winter		
Propane content (mol,%)	C3	10 ↓	15 ↑ 35 ↓	31	KS M ISO 7941
	C4	85 ↑	60 ↑	68	
	butadiene	0.5 ↓		0.1 미만	
Sulfur (ppm)		40 ↓		5	KS M 2150
Vapor pressure (40°C, MPa)		1.27 ↓		0.62	KS M ISO 4256
Density (15°C, kg/m ³)		500 ~ 620		559	KS M 2215
Copper corrosion (40°C, 1 hour)		1 ↓		0.01 미만	KS M ISO 6251
100ml Residue(ml)		0.05 ↓		1	ASTM D 2158

차량시험은 해당 시험모드 및 온도 (35 °C, 25 °C, 0 °C, -7 °C, -15 °C, -25 °C)로 운전하고 주행속도별 실시간 데이터를 획득하였으며, 배출가스 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 시험모드는 국내외에서 사용하고 있는 시험모드로서, 미국 EPA 5-cycle 모드, NEDC 모드, 향후 규제모드인 WLTP 모드이다. 본 논문의 차량 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 연료를 나타내고 있고, 본 시험에 사용된 연료는 동절기 연료로 1월 시중에 유통되고 연료와 유사한 C3 / C4 평균 조성을 가지고 있는 것을 볼 수 있다. 본 논문의 목적인 시험모드와 온도조건에 따른 특성을 확인하기 위하여 겨울철 기준에 맞춘 프로판 (31 mol%)과 황 함량 (5 ppm)을 가진 동일한 연료를 사용하여 시험을 진행하였다. 연료물성 결과를 통하여 시험에 사용된 연료가 동절기 LPG로서 적합한 품질기준을 만족하고 있음을 알 수 있고, 또한 저온 시험에서 시동성과 주행성에 대한 연료 품질 변화에 대한 영향은 없을 것으로 생각된다. 배출가스 변화의 주요원인 중 하나인 황 함량도 5 ppm으로 측정되었다.

III. 결과 및 고찰

3.1. LPLi 시험 차량 배출가스 특성 결과

Fig. 2는 시험에 사용된 LPG 시험차량의 배출가스 및 온실가스 결과를 배출가스 허용기준, 인증당시 결과와 비교하여 나타낸 것이다. LPG 시험 차량의 배출가스 결과를 살펴보면, 배출가스 허용 기준 대비 만족하는 것을 볼 수 있다. 하지만, 인증시험 당시의 결과 값과 비교하여 보면, 대부분의 측정항목들은 유사한 경향을 보이지만, CO 측정 항목에서 증가되어 나타나는 것을 볼 수 있다. 이러한 이유는 인증 받을 때보다 차량의 주행거리가 늘어남에 따라 발생하는 것으로 결과 차이는 크지 않음을 알 수 있다. 이러한 결과를 통하여 LPLi 시험차량 상태는 양호한 것으로 생각된다.

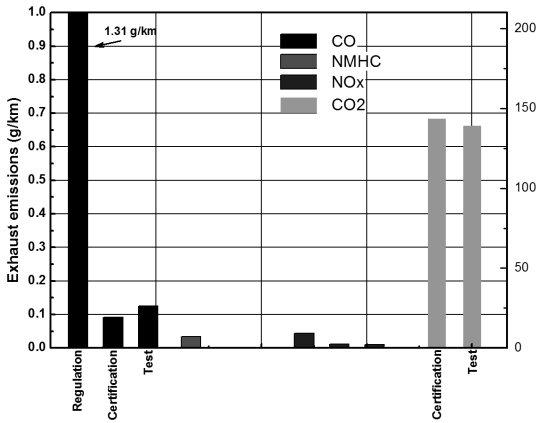


Fig. 2. Emission results at LPG vehicle certification test mode. (FTP-75 mode)

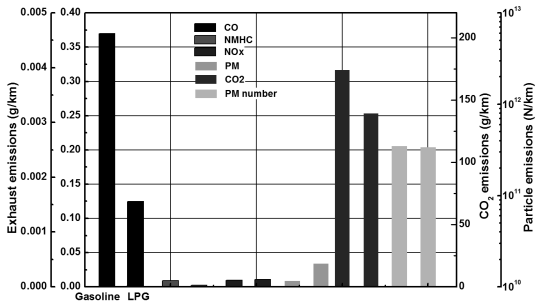


Fig. 3. Comparison of Emission results. (Gasoline T-GDI / LPG LPLi vehicle)

3.2. 동급 가솔린 /LPG 차량 배출가스 결과 비교

Fig. 3은 LPG 차량 특성을 확인하기 위하여, FTP-75 모드에서 동급 (1,600 cc) 가솔린 (T-GDI 엔진) 차량과 LPG (LPLi 엔진) 차량의 배출가스와 온실가스 결과를 비교하여 나타낸 것이다.

CO, NMHC, CO₂에 있어서는 청정연료인 LPG 차량이 가솔린 차량에 비해 적게 배출되고 있는 것을 볼 수 있는데 반해, NOx와 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 온실가스 등에서 좋은 것을 볼 수 있다. 하지만, 직접 분사엔진 (GDI)의 문제점으로 대두되고 있는 PM과 PM 입자개수는 LPG LPLi 차량이 GDI 차량보다 많이 배출되고 있는 것을 볼 수 있다. 이러한 NOx, PM중량, PM 입자 결과는 연료 특성과 공급방식보다는 시험차량 자체 특성 등에 따른 결과라고 생각된다.

그렇지만, LPG 차량의 PM 무게 및 개수가 EURO 6 규제 치에 근접하고 있어 이에 대한 대책이 향후에 필요할 것으로 보인다.

3.3. 시험모드 특성에 따른 배출가스 결과

Fig. 4는 LPG 차량의 시험모드에 따른 엔진 운전 특성을 나타낸 것이다. 엔진 운전영역을 살펴보면, 각각의 시험모드가 가지고 있는 특징을 잘 보여주고 있다. 동일한 모드 조건이지만 시험온도가 차이는 나는 FTP-75 모드와 Cold FTP-75 모드를 비교하여

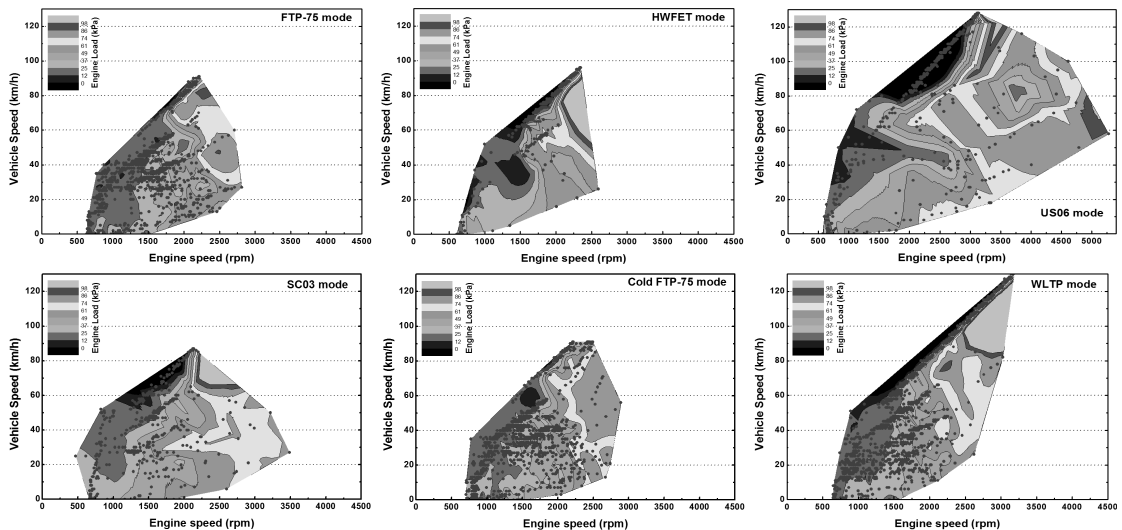


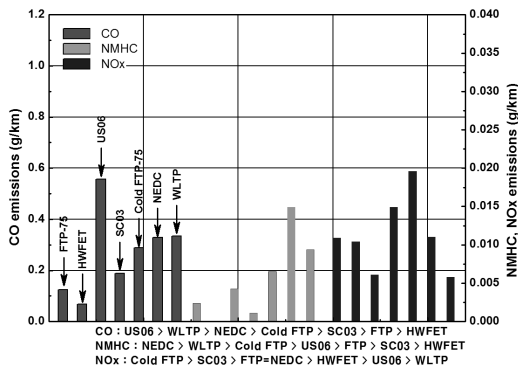
Fig. 4. Vehicle speed and engine revolution, Intake pressure results according to test mode.

보아도 시험온도 특성에 의해 저속, 고회전수 부분에서의 엔진운전이 증가되어 나타나고 있고, 전체적인 엔진에 적용되는 부하 면에서도 더 크게 나타나고 있음을 알 수 있다. 시험차량의 엔진에 가장 큰 부하를 나타내는 것은 US06 모드로 모드의 특징이 급가감속 및 고속 운전이기 때문에 나온 결과라 할 수 있다. 6개 모드의 결과를 살펴보면, HWFET, WLTP, FTP-75, Cold FTP-75, SC03, US06의 순으로 엔진 부하가 증가하게 된다. 이러한 결과와 마찬가지로 시험차량에서 배출되게 되는 배출물의 경향도 동일하게 나타나게 될 것으로 생각된다. 가솔린 차량과 운전 패턴을 비교하여 보면, 가장 크게 틀린 부분은 US06 모드로서 차량이 급가감속 운전을 할 경우 LPG 차량의 출력 및 토크가 낮은 관계로 엔진 부하보다는 고회전수의 영역을 많이 사용하고 있는 것을 알 수 있다. 이러한 특징은 대부분 모드에서도 높은 엔진

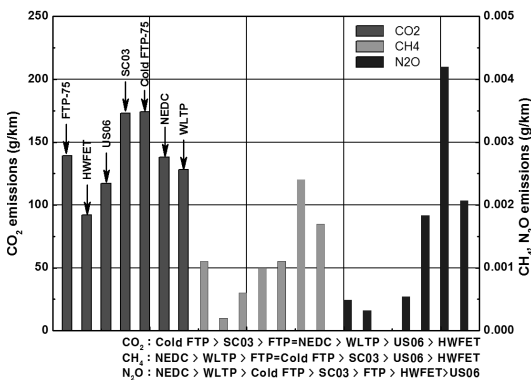
회전수를 사용하고 있다는 것을 알 수 있다.

Fig. 5는 차량 시험모드에 따른 LPG 시험 차량의 배출가스 결과를 나타낸 것이다. LPG 차량의 시험모드에 따른 엔진 운전 특성을 살펴보면, Fig. 4의 시험결과들과 마찬가지로 각각 시험모드가 가지고 있는 특징을 잘 보여주고 있다. 동일한 모드 조건이지만 시험온도가 틀린 FTP-75 모드와 Cold FTP-75 모드를 비교하여 보아도 시험온도 특성에 의해 배출가스가 크게 증가되어 나타나고 있고, 전체적인 엔진에 적용되는 부하 면에서도 더 크게 나타나고 있음을 알 수 있다. 배출가스 마다 약간의 차이를 보이지만 US06이나 Cold FTP-75 모드에서 가장 나쁜 결과를 보이고 있다. 이러한 결과는 US06 모드의 특징인 급가·감속 및 고속 운전이 원인으로 다른 연료의 시험차종에 비해 엔진출력 및 토크가 낮아 엔진에 부하가 더 많이 주어지기 때문이며, Cold FTP-75 모드의 경우는 LPG 연료의 특성으로 저온에서의 시동성 및 주행성이 나빠 시험모드의 배출가스에 영향을 주는 것으로 생각된다.

시험모드의 종류에 따른 결과를 비교하여 보면, CO는 US06 모드, NMHC는 NEDC 모드, NOx는 Cold FTP-75 모드에서 나쁜 특성을 보인다. 이러한 결과는 가솔린의 결과와 동일하게 모드의 특징을 잘 반영한 것으로 Cold FTP-75 모드는 저온에서 히터를 작동하여 시험함으로서 저온 영향과 엔진부하가 다른 모드에 비해 크기 때문이고, NEDC 모드는 모드 길이는 짧지만, 모드 자체에 저속부터 고속 또는 적절한 엔진부하를 사용하기 때문으로 생각된다. 이러한 모드들의 특징은 엔진이 운전되는 회전수와 부하율을 따져보면 각 모드에서 요구하는 조건을 알 수 있을 것이다.



(a) CO, NMHC, NOx emissions



(b) CO₂, CH₄, N₂O 배출물

Fig. 5. Comparison of Emission results according to the test mode.

3.4. 동급 가솔린/LPG 차량 시험온도에 따른 배출가스 결과 비교

Fig. 6은 동급의 가솔린 차량과 LPG 차량에 대하여 환경조건(온도) 변화에 따른 배출가스와 온실가스, 미규제 물질의 결과를 나타낸 것이다.

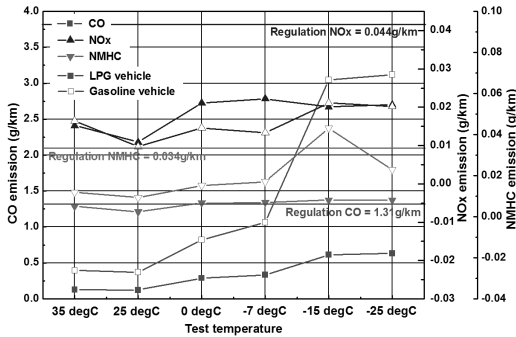
시험결과를 살펴보면, LPG 차량의 배출가스 특성은 값의 차이는 가지고 있지만, 동급의 가솔린 차량의 배출가스 특성 경향과 대부분 유사한 점을 볼 수 있는데, 이러한 이유는 연료의 연소특성에 따른 것으로 볼 수 있다. 또한 LPG 차량도 온도가 고온에서 저온으로 갈수록 PM과 BTX를 제외한 모든 배출가스 및 온실가스, 미규제 물질이 증가하는 경향을 가지고 있는 것을 볼 수 있다. CO, NMHC, NOx 배출가스 규제 항목은 규제 값 대비 모든 온도조건에서 만족을 하고 있으며, PM도 고온에서 저온으로

갈수록 유사한 경향을 가지기는 하지만, 규제 값보다 적은 것을 알 수 있다. 특히, PM 입자 개수에 있어서는 다른 연구결과와 가솔린 MPI 수준의 배출 경향을 보이고 있다. 하지만, 가솔린 차량의 경우에는 저온으로 갈수록 CO, NMHC 결과가 배출가스 규제 값 대비 증가되어 나타나고 있으며, PM 질량도 크게 증가되는 것을 볼 수 있다.

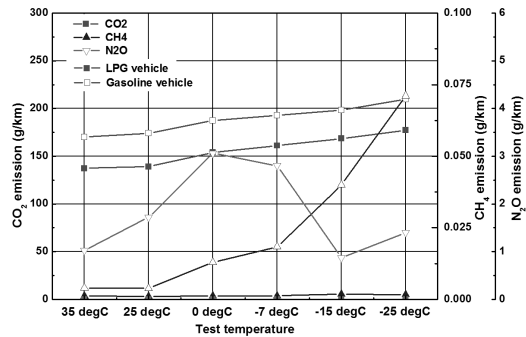
CO₂, CH₄ 측정 항목은 온도 변화가 고온에서 저온으로 갈수록 증가하는데, 전체적으로 큰 변화 없이 가솔린 T-GDI 차량 보다는 적게 배출하고 있는 것을 볼 수 있다. 이러한 결과는 연료 특성과 연소방식에 따른 것으로 청정연료인 LPG가 CO₂를 적게 배출하고 있음을 볼 수 있다. 연료 중에 포함되어 있는 C의 분자 개수에 따라 CO₂가 적게 배출하고 있음을 알 수 있다. CH₄는 온도 감소에 의해 크게 증가하는 것을 볼 수 있는데, 이러한 이유는 저온에서 연료가 연소됨에 따라 미연소 연료가 배기로 바로 방출되기 때문이고, 이러한 경향은 가솔린 차량의

경우에 더욱 두드러지게 나타나고 있다. N₂O의 경우에는 LPG 차량에서는 유사한 경향을 보이는데 비해, 가솔린 차량의 경우 큰 편차를 보이고 있는 것을 볼 수 있다.

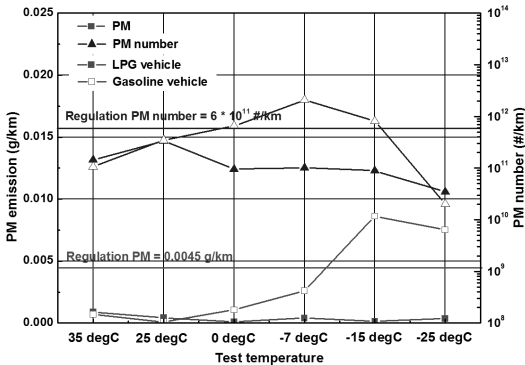
미규제 물질의 경우 각각 틀린 경향을 보이고 있는데, 포름알데히드의 경우에는 온도 감소로 인해 증가하다가 -7℃에서 감소하는 경향을 가지며, BTX 또한 저온으로 갈수록 전체적으로 증가하다가 감소하는 경향을 가진다. 전체적인 배출가스 결과는 가솔린 차량보다 낮은 값을 가진다. 미규제 물질에 대한 LPG 차량의 온도 특성은 약간의 차이가 있지만 대체적으로 유사한 경향을 가지며, 저온으로 갈수록 증가하는 경향은 모든 배출가스 및 온실가스과 동일한 경향을 가지고 있다. 배출가스 및 온실가스, 미규제 물질 결과를 가지고 해석해 보면 온도 감소에 따라 차량 운전시 배출되는 배출가스에 대한 저감 대책을 강구할 필요가 있다고 할 수 있다.



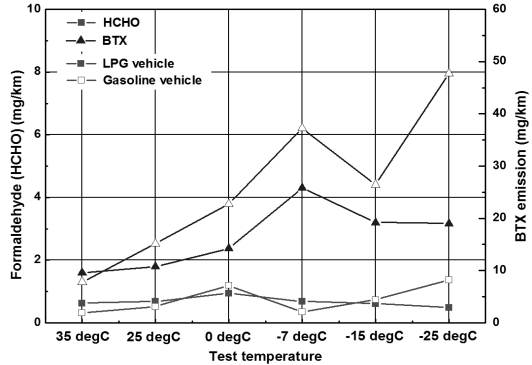
(a) CO, NMHC, NOx emission



(c) CO₂, CH₄, N₂O emission



(b) PM weight and number emission



(d) Formaldehyde (HCHO), BTX emission

Fig. 6. Emission results according to test temperature of Gasoline /LPG vehicle.

IV. 결론

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

(1) LPG 시험 차량의 배출가스는 허용 기준 대비 만족하는 것을 볼 수 있고, 인증결과 값과 비교하여 측정항목들은 유사한 경향을 보이고 있으나, CO 측정 항목에서 증가되어 나타나는 것을 볼 수 있는데, 이는 차량의 주행거리가 늘어남에 따라 발생하는 것으로 결과 차이는 크지 않음을 알 수 있다.

(2) LPG 청정연료의 특성에 의해 LPG LPLi 차량이 가솔린 T-GDI 차량보다 대체적으로 배출가스 및 온실가스등에서 좋은 것을 볼 수 있다. 하지만, 직접분사엔진(GDI)의 문제점으로 대두되고 있는 PM과 PM 입자개수는 LPG LPLi 차량이 GDI 차량보다 많이 배출되고 있는 것을 볼 수 있다. 이러한 결과는 연료 특성과 공급방식, 시험차량 자체 특성 등에 따른 결과라고 생각된다.

(3) 엔진 운전영역은 각각의 시험모드가 가지고 있는 특징을 잘 보여주고 있다. 온도가 틀리지만 동일한 모드조건인 FTP-75 모드와 Cold FTP-75 모드에서도 시험온도 특성에 의해 저속, 고회전수에서 운전부하가 증가되고 있음을 알 수 있다. 시험차량에 가장 큰 부하를 주는 것은 US06 모드로서 모드 특징이 급가속 및 고속 운전이기 때문에 나온 결과라 할 수 있다. 6개 모드의 결과를 살펴보면, HWFET, WLTP, FTP-75, Cold FTP-75, SC03, US06의 순으로 차량의 부하가 증가하게 나타나게 된다.

(4) 배출가스 결과를 살펴보면, CO는 US06 모드, NMHC는 NEDC 모드, NOx는 Cold FTP-75 모드에서 나쁜 특성을 보인다. 이러한 결과는 가솔린 차량의 결과와 동일하며, 시험모드의 특징을 잘 반영하는 것을 알 수 있다. Cold FTP-75 모드는 저온에서 히터를 작동하여 시험함으로서 저온 영향과 엔진부하가 다른 모드에 비해 크기 때문이며, NEDC 모드는 모드 길이는 짧지만, 모드 자체에 저속부터 고속 또는 적절한 엔진부하를 사용하기 때문으로 생각된다. 이러한 시험모드들의 특징은 엔진이 운전되는 회전수와 부하율을 따져보면 각 시험모드에서 요구하는 조건을 알 수 있을 것이다.

(5) 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, CO₂, CH₄ 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 CO₂ Emission and Fuel Economy for LPG Vehicles", KSAE08-S0101, KSAE spring conference, 2008
- [3] "2015 Business support information for reduction of driving cars emissions in metropolitan areas", Metropolitan Air Quality Management Office, Ministry of Environment, 2015
- [4] Jong-Hun Lim, et al. "LPLi engine performance and vehicle exhaust emission characteristics", Transactions of KSAE, Vol. 11, No. 4, pp.15-21, 2003
- [5] Woojik Lee, et al. "Development of HMC Mono LPG Injection System", KSAE04-S0026, KSAE spring conference, 2004
- [6] S.B. Han, 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
- [7] Minhoo Lee, Sungwoo Kim, Kiho Kim, Jonghan Ha, "A study on the cold startability and emission characteristics of LPG vehicle according to test temperature", KIGAS, Vol.18, No.6, pp.7-13, 2014