

배기량과 차량중량에 따른 LPG 연료를 사용하는 승용 및 승합형 자동차 온실가스 배출 특성에 관한 연구

김형준[†] · 이종태 · 임윤성 · 윤창완 · 길지훈 · 홍유덕

국립환경과학원

A Study on Greenhouse Gas Emission Characteristics of Passenger Car and Van with LPG Fuel According to Displacement and Vehicle Weight

HYUNG JUN KIM[†], JONG TAE LEE, YUN SUNG LIM, CHANG WAN YUN, JI HOON KEEL, YOU DEUK HONG

National Institute Environmental Research, 42 Hwankyung-ro Seo-gu, Incheon 22689, Korea

[†]Corresponding author :
junandjin@korea.kr

Received 16 July, 2018
Revised 22 August, 2018
Accepted 30 October, 2018

Abstract >> In Korea, passenger car and van using LPG fuel including taxi constantly increased due to the high cost of fuel. Recently, the emission standard has continuously tightened in the world. In this investigation was conducted the greenhouse gas emission characteristics of LPG vehicles according to the displacement and weight. Exhaust emission characteristics of 13 test LPG vehicles from about 1.0 L to 3.0 L displacements were measured and analyzed by using chassis dynamometer and emission analyzer. It is revealed that the greenhouse gas emission was showed the increasing tendency as the displacement and curb weight increased. Also, greenhouse gas emission of SC03 driving cycle has highest value and that of HWFET driving cycle shows the lowest value.

Key words : Greenhouse gas(온실가스), LPG vehicle(액화석유가스자동차), Displacements(배기량), Curb weight(공차중량), Chassis dynamometer(차대동력계)

1. 서론

국내에서는 현재 미세먼지 등 대기오염에 대한 심각성을 인식하고 수송 분야에 대한 대기개선 정책을 지속적으로 추진하고 있다. 환경부에서는 이에 대한 대책으로 노후 경유차 조기폐차, 배출가스 등급제, 배출가스 저감장치 부착사업 등을 추진하고 있다. 이런 추세는 소비자들의 환경에 대한 관심의 증가와

연료소비율 특성이 우수한 차량에 대한 선호도가 높아짐에 따라 향후에도 지속될 것으로 전망되고 있다. 국내의 LPG 연료의 가격이 가솔린 또는 경유보다 낮아 차량유지비 절감과 연소시 기화되는 특성으로 입자상물질 배출도 낮은 환경적으로 유리한 측면이 있다. 따라서 가솔린연료 및 LPG를 사용하는 자동차의 대한 배출가스 및 연소성능에 관한 연구들도 지속적으로 진행되고 있다¹⁻⁴⁾. 국내에서는 택시 또는

LPG를 사용하는 차량의 경우 택시 또는 장애인용이 아닌 5인승 LPG 차량에 한정하여 일반인 구매가 가능하도록 규정이 완화되어 향후 보급이 가능할 것으로 보인다. 또한, 환경부에서는 지난해부터 노후경유 승합차량을 사용하는 어린이 통학버스의 경우에도 LPG 승합차량으로 교체해 주는 사업을 진행하고 있다. 따라서 국내에서도 택시뿐만 아니라 LPG를 연료로 사용하는 승용 및 승합차량이 증가할 것으로 판단되어 진다. 국내의 경우 LPG 연료는 다른 연료에 비하여 경제성이 있으며, 미세먼지도 적게 배출하는 것으로 알려져 있다. 이에 따라 가솔린연료사용 자동차 및 경유자동차와의 배출 특성에 대한 연구^{5,6)}도 진행되고 있고 특히 최근에는 직접분사식 LPG 엔진이 개발되고, 이와 관련하여 가솔린 직접분사식 엔진보다 배출가스가 적게 나오는 것을 확인한 연구⁷⁾와 LPG 차량에 대한 시험을 통하여 입자상물질 배출 특성에 대한 다양한 연구들⁸⁻¹¹⁾이 진행되고 있다. 또한 LPG 엔진의 흡기관에 수소를 분사하기 위한 인젝터를 추가 설치하여 연소안정성과 수소혼합률이 높아짐에 따라 CO₂ 배출이 감소하는 등 혼소에 관한 연구¹²⁾도 활발히 진행되고 있다. 한편 온실가스의 경우 국가별 감축목표가 있으며, 이를 달성하기 위하여 발전, 수송, 생활부분에서 체계적인 감축방안 및 실행방안을 마련하고 있다. 우리 정부에서는 2009년부터 자동차 평균 온실가스 배출허용기준을 도입하여 온실가스를 지속적으로 관리를 하고 있다. 따라서 본 연구에서는 배기량과 차량중량에 따른 CO₂ 배출가스 특성에 대하여 알아보고자 국내에서 판매되는 다양한 LPG 차량의 CO₂를 측정하고 분석하였으며 아울러 차량형태에 따른 배출 특성에 대한 연구도 수행하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

본 연구에서는 LPG 연료를 사용하는 차량의 온실가스를 측정하기 위하여 Fig. 1과 같이 실험장치를

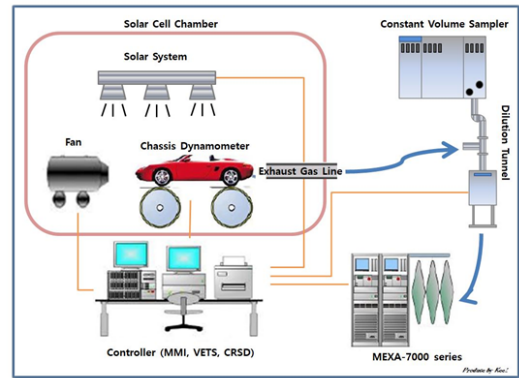


Fig. 1. Experimental apparatus

구축하였다. 차량의 도로주행을 모사하기 위하여 차대동력계(Chassis dynamometer 48"compact 4 WD, AVL) 위에 차량을 설치하고 가변송풍팬을 차량 앞쪽에 설치하였다. 다양한 주행모드를 적용하기 위한 운전보조 시스템(CRSD-7000 & VETS-7000NT, Horiba)으로 주행하였으며 차량 배기관에서 나오는 배출가스는 배출가스 분석기(CVS-7200s & MEXA-7200LE, Horiba)를 이용하여 측정하였다. 아울러, 여름철 고온 환경을 모사한 SC03 모드를 주행하기 위하여 태양광 챔버 내에서 시험을 진행하였으며, 태양광을 이용하여 차량 주변 온도를 고온 조성하여 시험을 진행하였다.

2.2 실험방법

2.2.1 시험차량

본 연구를 수행하기 위하여 국내에서 판매되고 있는 다양한 배기량(1-3 L급)의 LPG 연료차량을 선정하였다. 시험을 위하여 선정된 차량은 경승용차, 승용차, 승합차로 총 13개 차종이며 승차인원도 5-12인승으로 구성하였다. A-L차종은 전륜차량이며 M차종은 후륜구동 사양을 가지고 있으며 D, E, G차종은 무단변속, 나머지는 자동변속기 차량이다. 연료공급 방식은 대부분 liquid phase LPG injection (LPLi) 방식을 사용하고 있다. 또한 차량형태에 따른 온실가스 배출 특성을 비교하기 위하여 H와 L차량을 별도로

Table 1. Test vehicles

Types		Seater (person)	Displacement (cc)	Curb weight (kg)	Gross weight (kg)
A	Passenger	5	998	960	1,340
B	Passenger	5	998	1,085	1,415
C	Passenger	5	1591	1,270	1,655
D	Passenger	5	1998	1,470	1,795
E	Passenger	5	1998	1,470	1,795
F	Passenger	5	1999	1,455	1,840
G	Passenger	5	1998	1,535	1,860
H	Passenger	5	1999	1,465	1,880
I	Passenger	5	2999	1,640	2,015
J	Passenger	5	2999	1,630	2,025
K	Van	7	1998	1,645	2,170
L	Van	7	1999	1,550	2,090
M	Van	12	2359	2,180	2,980

추가하여 시험하였다. H와 L차종은 동일한 배기량을 가지나 H차종은 5인승 승용차량이며 L차종은 7인승 밴형으로 시험차량에 대한 상세 정보는 Table 1에 나타내었다.

2.2.2 주행모드

국내의 온실가스 및 연비 측정을 위한 주행모드는 도심구간(CVS-75) 및 고속도로 주행(HWFET)을 합한 복합모드(combined mode)로 규정되어 있어 차대 동력계와 배출가스 분석기를 활용하여 각각 주행하고 그 배출가스를 측정 분석하였다. 온실가스 배출량은 환경부 「자동차 평균에너지소비효율기준·온실가스 배출허용기준 및 기준의 적용·관리 등에 관한 고시(제2017-225호) 제2조」에 따라 이산화탄소(CO₂) 배출량(g/km)을 의미한다. 아울러 복합모드의 CO₂ 배출량은 아래와 같이 계산되어진다.

$$\text{복합 CO}_2 \text{ 배출량(g/km)} = 0.55 \times \text{FTP-75모드 측정 CO}_2 \text{ 배출량} + 0.45 \times \text{HWFET모드 측정 CO}_2 \text{ 배출량}$$

또한 차량형태에 따른 온실가스 배출 특성을 비교

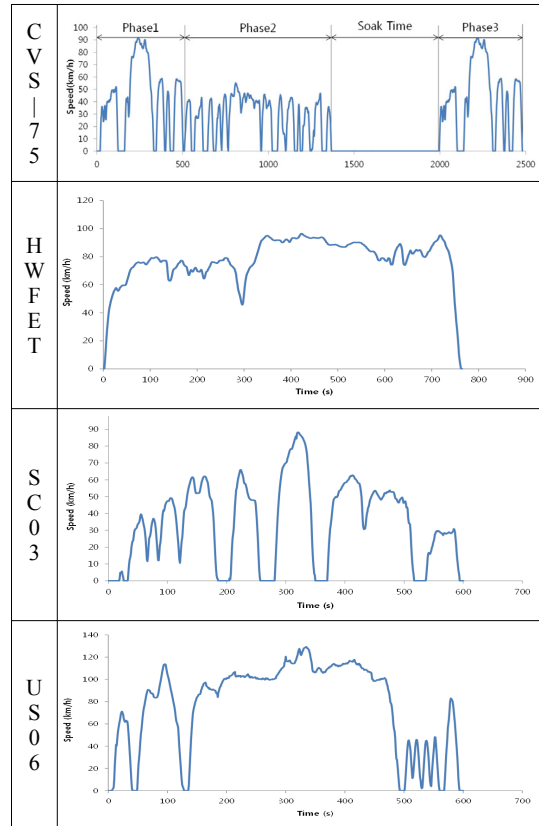


Fig. 2. Test driving cycles (x-axis: time [s], y-axis: vehicle speed [km/s])

하기 위하여 급가감속 주행모드인 US06 모드와 여름철 고온 환경을 모사한 SC03 모드를 추가하여 시험하고 그 결과를 측정하였다. 각 주행모드의 자세한 시간 및 속도 특성은 Fig. 2에 나타내었다.

3. 결과 및 고찰

3.1 배기량 및 공차중량별 온실가스 배출 특성

3.1.1 시험차량별 온실가스 배출 특성

각 주행모드(도심주행모드, 고속주행모드, 복합모드)에서 13차종의 온실가스 배출 특성을 측정하여 Fig. 3에 나타내었다. Fig. 3에서 보는 바와 같이, 도심주행모드의 온실가스가 고속주행모드보다 높게 나타나는 것을 확인하였으며, 승차인원이 증가할수록

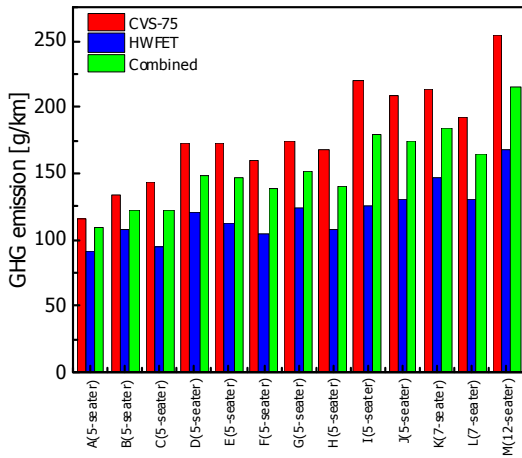


Fig. 3. Emission characteristics on greenhouse gas of various test vehicles

공차중량의 증가로 인하여 온실가스 배출량도 높게 나타나는 패턴을 확인하였다. 또한 온실가스 값이 높을 경우 도심주행모드와 고속주행모드 간의 배출량 차이도 증가하는 것도 알 수 있다. 이는 도심주행모드에서는 가감속의 영향으로 연료소모가 많지만 고속주행모드의 경우에는 고속주행시 연료를 소모하지 않고 관성주행을 하기 때문인 것으로 판단된다. 아울러 기존 연구³⁾에서 최근 개발된 직분식 LPG차량이 동급의 직분식 휘발유차량보다 동일시험모드에서 배출가스 및 온실가스의 배출량이 낮게 나타난 결과를 보여주었다. 특히 입자상물질 개수에서 매우 낮은 배출량을 보여주었는데 이는 온실가스의 경우 휘발유차보다 약간 높은 수준이지만 환경적인 측면에서 LPG 차량의 보급을 확대시키는 것도 좋은 방안이라고 생각된다.

3.1.2 배기량에 따른 온실가스 배출 특성

Fig. 4는 배기량에 따른 차종별 온실가스 배출값을 보여주고 있다. 배기량이 증가함에 따라 온실가스 배출값이 증가하는 것으로 나타났는데 이는 배기량이 클 경우 분사되는 연료의 양이 크기 때문인 것으로 판단된다. 하지만 3,000 cc의 경우 온실가스가 감소하는 것으로 나타났는데 이는 3,000 cc급 차량은 모두 승용차이며 2,500 cc 차량은 12인승 승합차의 온실가스

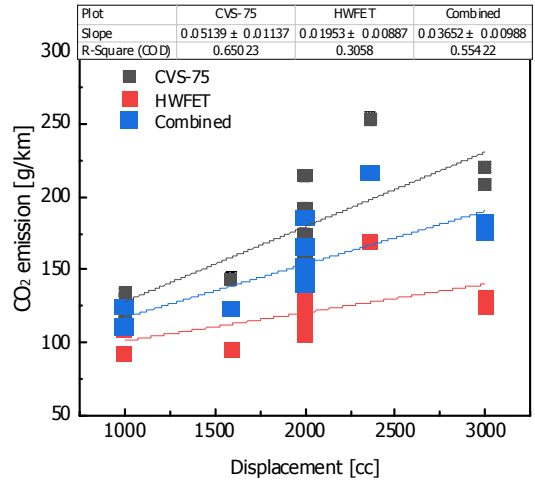


Fig. 4. Emission characteristics on greenhouse gas of vehicles according to the displacements

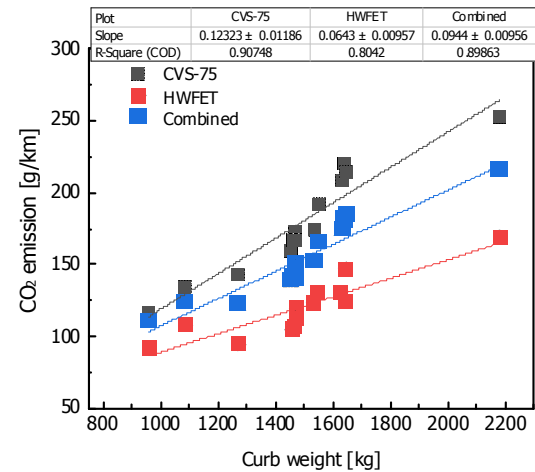


Fig. 5. Emission characteristics on greenhouse gas of vehicles according to curb weight

배출값이 급격히 증가하였기 때문으로 보여진다.

3.1.3 공차중량에 따른 온실가스 배출 특성

Fig. 5는 공차중량에 따른 차종별 온실가스 배출값을 나타내고 있다. 배기량의 특성과 비슷하게 공차중량이 증가하는 경우 온실가스 배출값도 증가하는 것으로 나타났으며 그 경향이 뚜렷하게 선형적으로 나타났다.

이는 온실가스 배출값이 차량 무게에 매우 높은

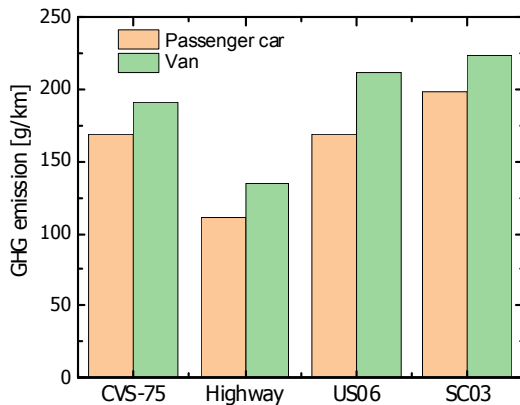


Fig. 6. Comparison on the greenhouse gas emission of passenger car and van according to test driving cycle

상관성이 있다는 것을 보여준다. 아울러, 유사한 공차중량을 가지는 차량에서도 온실가스 배출값이 차이가 나타났는데 이는 각 차량마다 적용된 온실가스 저감기술(에어컨 냉매누기 감소, 에어컨효율개선, 고효율등화장치 등)과 차량옵션(좌석환기장치, 타이어 사양 등)에 따라라도 차이가 있는 것으로 판단된다. 온실가스 저감기술은 현재 에코이노베이션 기술로 인정받는 경우 기술별로 0.4-7.9 g/km로 저감량을 인정받고 있으며 차량옵션이 증가하는 경우 부대장치의 증가로 차량중량이 증가되는 효과가 있다.

3.2 승용 및 승합차량 온실가스 배출 비교

차량형태에 따른 온실가스 배출 특성을 비교하기 위하여 동일한 배기량을 가지면서 승차인원이 다른 H와 L차종을 선택하여 복합모드뿐만 아니라 급가감속 주행모드(US06)와 여름철 주행모드(SC03)에서 시험을 진행한 후 그 결과를 Fig. 6에 나타내었다. 동일한 배기량을 가지는 두 차종이지만 승합차량의 경우가 모드 주행모드에서 온실가스 배출값이 높게 나타났다. 이는 승차인원이 많은 차량 특성상 공차중량 증가로 인하여 보다 높은 부하 조건에서 운전되어야 하기 때문인 것으로 판단된다. 또한 고속도로 주행모드에서 온실가스 배출값이 가장 낮았으며 여름철 모사 주행모드인 SC03에서 가장 높은 온실가스 배출

값을 보여주었다. 이는 여름철 주행모드인 경우 주변 온도 35도에서 차량의 에어컨을 가동하기 때문에 차량부하가 높게 적용된 결과라고 판단되어진다. 이러한 결과를 토대로 여름철뿐만 아니라 겨울철 주행모드인 Cold FTP-75모드에 대한 시험을 향후 진행하여 저온 시동성에 대한 연구도 필요할 것으로 판단된다. 차량형태 간 차이는 highway 모드에서 24.4 g/km (승용차형: 168.5 g/km, 밴형: 191.8g/km)로 가장 적게 나타났고 급가감속 주행모드인 US06에서 42.7 g/km (승용차형: 169.1 g/km, 밴형: 211.8 g/km)로 가장 큰 차이를 보였다.

4. 결론

본 연구에서는 배기량 및 차량중량에 따른 승용 및 승합차량의 온실가스 배출 특성을 측정 및 분석하였으며 그 결론은 다음과 같다.

1) 도심주행모드의 온실가스가 고속주행모드보다 높게 나타났으며 승차인원이 증가할수록 공차중량의 증가로 온실가스 값도 높게 나타났다.

2) 배기량이 증가함에 따라 온실가스 배출값이 증가하는 것으로 나타났으며 공차중량이 증가하는 경우에도 온실가스 배출값도 증가하였으며 그 경향이 뚜렷하게 나타났다.

3) 고속도로 주행모드에서 온실가스 배출값이 가장 낮았으며 SC03에서 가장 높은 온실가스 배출값을 보여주었다. 차량형태 간 차이는 highway에서 가장 적게 급가감속 주행모드인 US06에서 가장 큰 차이를 보였다.

후 기

본 논문은 환경부의 재원으로 국립환경과학원의 지원을 받아 수행하였다(NIER-2018-03-01-013).

References

1. M. Gumus, "Effects of volumetric efficiency on the per-

- formance and emissions characteristics of a dual fueled (gasoline and LPG) spark ignition engine”, *Fuel Processing Technology*, Vol. 92, 2011, pp. 1862-1867.
2. C. Cinar, F. Sahin, O. Can, and A. Uyumaz, “A comparison of performance and exhaust emissions with different valve lift profiles between gasoline and LPG fuels in a SI engine”, *Applied Thermal Engineering*, Vol. 107, 2016, pp. 1261-1268.
 3. C. L. Myung, Y. Lim, S. Kim, J. Lee, K. Choi, and S. Park, “Mobile source air toxic emissions from direct injection spark ignition gasoline and LPG passenger car under various in-use vehicle driving modes in Korea”, *Fuel Processing Technology*, Vol. 119, 2014, pp. 19-31.
 4. J. Kim, K. Choi, C. L. Myung, Y. Lee, and S. Park, “Comparative investigation of regulated emissions and nano-particle characteristics of light duty vehicles using various fuels for the FTP-75 and the NEDC mode”, *Fuel*, Vol. 106, 2013, pp. 335-343.
 5. H. J. Kim, J. Lee, Y. Seo, and Y. D. Hong, “Investigation on the comparison of exhaust emission characteristics of passenger cars using LPG and diesel fuel in variation of driving mode and ambient conditions”, *Journal of ILASS Korea*, Vol. 22, No. 4, 2017, pp. 185-189.
 6. A. Suyabodha, “Comparison the rate of energy consumption between gasoline95 and LPG in spark ignition engine under real driving conditions”, *Energy Procedia*, Vol. 118, 2017, pp. 164-171.
 7. T. Y. Kim, C. Park, S. Oh, and G. Cho, “The effects of stratified lean combustion and exhaust gas recirculation on combustion and emission characteristics of an LPG direct injection engine”, *Energy*, Vol. 115, 2016, pp. 386-396.
 8. K. Kim, J. Kim, S. Oh, C. Kim, and Y. Lee, “Evaluation of injection and ignition schemes for the ultra-lean combustion direct-injection LPG engine to control particulate emissions”, *Applied Energy*, Vol. 194, 2017, pp. 123-135.
 9. K. Kim, J. Kim, S. Oh, C. Kim, and Y. Lee, “Lower particulate matter emissions with a stoichiometric LPG direct injection engine”, *Fuel*, Vol. 187, 2017, pp. 197-210.
 10. M. Lee, K. Kim, and J. Ha, “A study on the stratified combustion and stability of a direct injection LPG engine”, *Trans. of the Korean Hydrogen and New Energy Society*, Vol. 27, No. 1, 2016, pp. 106-113.
 11. J. Kim, K. Choi, C. L. Myung, and S. Park, “Experimental evaluation of engine control strategy on the time resolved THC and nano-particle emission characteristics of liquid phase LPG direct injection (LPG-DI) engine during the cold start”, *Fuel Processing Technology*, Vol. 106, 2013, pp. 166-173.
 12. I. Kim, K. Kim, S. Lee, and Y. Cho, “An experimental study on the performance and emission characteristics with hydrogen enrichment at part load conditions using a LPG engine”, *Trans. of the Korean Hydrogen and New Energy Society*, Vol. 24, No. 3, 2013, pp. 242-248.