

FTP75 모드에 의한 LPG액상분사자동차의 배출가스 및 나노입자배출특성

이호길*[†], 김용태*

*자동차부품연구원

Analysis of Nano-particle and Emissions Characteristics for FTP75 Mode in LPLi Vehicle

HOKIL LEE*, YONGTAE KIM*

*Korea Automotive Technology Institute, 74 yongjung ri, Pungse myeon, Chunan,
Chunnam 330-912, Korea

ABSTRACT

The regulation of the CO₂ emit from vehicles have become much more stringent in recent years. This stringent regulation is more request vehicle manufacturers to develop the alternative fuel vehicles for reducing exhaust emissions. LPG fuel is more clean energy compares with gasoline and diesel fuel. Especially, CO₂ emission of LPG Vehicle is less than gasoline vehicle and almost equal to diesel vehicle. For this reason, recently korean government is extending LPG fuel for hybrid car and light duty vehicle. In domestic, Propane is mixing 15~30% to butane for improvement of cold start at winter season. Therefore, In this paper was investigated that the characteristics of emissions according to propane mixing rate with 0, 10, 20, 30% were compared and analyzed by the vehicle test using LPG vehicle according to the FTP75 mode. It was also investigated the characteristics of nano-particle emit with propane mixing rate.

KEY WORDS : FTP75 mode(미연방배출가스시험모드), LPG(액화석유가스), CO₂(이산화탄소), Nano-particle(나노입자)

1. 서 론

최근 들어 정부가 추구하고 있는 “저탄소녹색성장”의 의지를 실현하기 위해 지구온난화 가스에 대한 관심이 고조되고 있으며, 온실효과에 영향을

미치는 6대 가스 중 온난화지수는 가장 낮지만 그 배출량이 상대적으로 많아 실질적인 지구온난화의 주범이라 볼 수 있는 CO₂가스 저감에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다¹⁾. 이러한 상황에서 휘발유나 경유 자동차에 비해 상대적으로 CO₂배출량이 적은 LPG자동차에 대한 연구가 활발히 진행되고 있고, 최근 LPI 기술의 발달로 기존 mixer 타입의

[†]Corresponding author : hklee@katech.re.kr

LPG자동차 보다 연비나 CO₂ 배출도 현격히 향상되어 왔다. 또한 현 정부에서는 LPG자동차를 경차에 대하여서도 확대 적용할 방침이고 하이브리드 자동차에도 적용할 예정이다. 따라서 본 논문에서는 가솔린 및 디젤연료에 비하여 청정연료로서 주목받고 있는 LPG자동차의 겨울철 냉시동성 개선을 위하여 첨가하고 있는 프로판 첨가에 따른 LPG자동차의 배출가스를 측정하여, 프로판 비율에 따른 배출가스의 변화를 파악하였다. 또한 현재 디젤자동차에서 주로 발생하는 입자상물질 중 극미세입자를 본 논문을 통하여 LPG 및 가솔린 자동차에 대하여서도 측정함으로써 LPG자동차의 극미세입자 배출경향을 파악하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험차량 및 시험모드

본 연구를 위하여 시험에 적용된 차량은 2.0L급 LPG 액상분사방식 차량을 대상으로 연비 및 배출가스 시험을 실시하였으며, 시험모드는 현재 국내 및 북미의 배출가스 시험모드인 FTP75 모드를 이용하여 수행하였다.

Table 1. Specifications of test vehicle

Model	NF
Model year	2007
Curb. weight	1,480
T/M	AT4
Fuel	LPG
Injection type	LPLi

Table 2. Summary of FTP75 mode

Type	Time (sec)	Distance (km)	Ave. speed (km/h)	Remark
Phase1	505	5.78	40.4	5Cycle
Phase2	865	6.29	25.6	13Cycle
Soak	600	-	-	
Phase3	505	5.78	40.4	5Cycle

Table 1은 본 연구에 사용된 차량의 제원이고, Fig. 1, Table 2는 FTP75 모드의 주행패턴과 시험모드의 요약을 나타낸 것이다.

FTP75 모드는 미국의 EPA 및 국내에서 생산되고 수입되어 판매되는 가솔린 및 LPG 차량의 배출가스 및 연비시험방법으로 총 3개의 phase로 구성되어 있으며, 예비주행을 수행한 차량을 25°C에서 12시간 이상 항온항습 시킨 후 배출가스시험을 진행한다. 차량의 평균속도는 냉간 시동상태인 phase 1에서는 40.4km/h이고 시간은 505초이며, 고온 안정화단계인 phase 2에서는 평균속도가 25.6 km/h이고 시간은 867초이다. Phase 1, 2의 시험을 수행한 후 10분간차량을 상온 25°C에서 방치(soaking)시킨 후 Phase 1과 같은 운전모드인 phase 3의 시험을 진행한다²⁾.

2.2 입자상물질 측정방법

최근 자동차에서 배출되는 입자상물질이 사람의 호흡에 의해 인체내로 유입되어 폐암 등을 일으키는 것으로 알려져 있다. 이에 따라 나노입자 배출에 대한 규제가 곧 본격화 될 것으로 알려져 있다. 본 논문에서는 디젤자동차의 배출가스규제 항목에만 포함되어 있는 입자상물질배출에 대하여 LPG 및 가솔린 자동차에 대하여서도 측정을 수행하였다. 현재 DPF를 장착한 디젤차량의 경우 입자상물질 배출수준은 LPG나 가솔린차량의 배출수

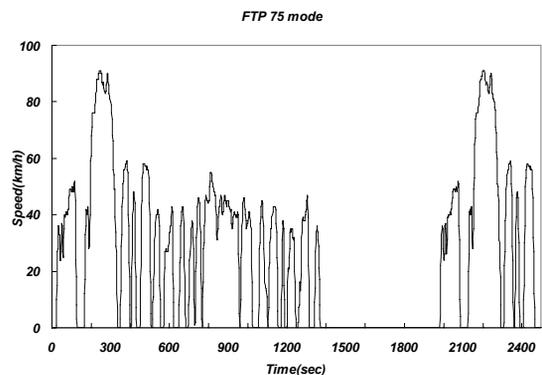


Fig. 1 Driving pattern of FTP75 Mode

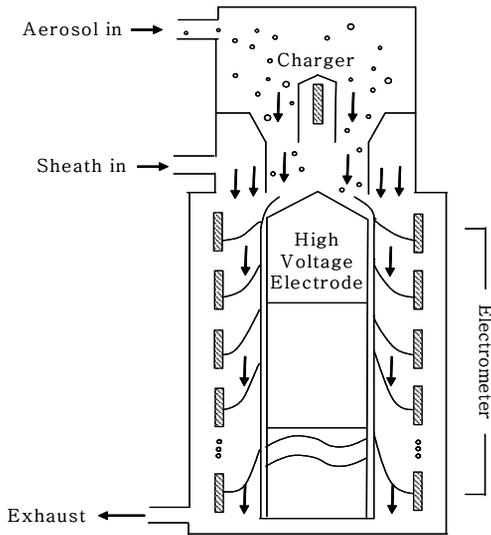


Fig. 2 Schematic diagram of EEPS system

준이고, 이러한 입자상물질은 현재의 중량측정방법으로는 측정이 불가능하다. 지금까지 주로 디젤 자동차에서 배출되는 PM(particulate matters)의 경우 배출되는 구성입자의 크기가 일반적으로 1 μ m 이하이며 호흡시 체내에 침착되어 폐암 및 호흡기 질환을 유발하는 인자는 훨씬 작은 0.1 μ m 이하이다^{4,5)}. 이 정도 크기의 입자는 디젤자동차에 비해 적기는 하지만 국부적으로 농후한 혼합기를 사용하는 GDI 가솔린자동차에서도 배출되고 있는 실정이다.

입자의 크기를 측정하는 방법은 오래전부터 다양하게 연구되어 왔는데, 가장 확실한 방법은 매연을 일정량 포집하여 무게를 측정함으로써 그 양을 측정하고 전자현미경으로 입자를 촬영하여 크기를 측정하는 방법이다. 하지만 이러한 방법은 측정 시간도 오래 걸릴 뿐만 아니라 과정이 복잡하고 이미 PM의 존재 영역을 벗어난 다른 환경에서 관찰된다는 한계를 극복할 수 없다. 따라서 최근에는 CPC(condensation particle counter), ELPI(electrical low pressure impactor), SMPS(scanning mobility particle sizer) EEPS(engine exhaust particle sizer)등이 디젤 입자상 물질의 평가 방법으로 주로 사용되고 있다. 본 논문에서는 EEPS장치를 이

용하여 LPG 및 가솔린자동차의 미세입자를 측정하였다.

이 시스템은 전기 이동도 분급기와 전류계를 일체화하여 실시간으로 입경 분포와 개수농도를 측정하는 것으로 Fig. 2에 개략도를 나타내었다. 측정 개념은 SMPS와 유사하여 코로나 방전기에서 하전된 입자를 고압의 전기장을 이용하여 입자 크기별로 분리하고, 32개의 전위계에서 전류값을 실시간으로 측정하여 입경분포를 구한다. 즉, 실시간 측정이 가능하다는 ELPI의 장점과 분해능이 우수하여 수 nm 이하의 작은 크기의 입자들도 효율적으로 측정할 수 있다는 SMPS의 장점을 동시에 갖춘 특징이 있다⁶⁾.

3. 실험결과

3.1 프로판첨가에 따른 배출가스특성

LPG를 연료로 한 경우 일반적으로 연료조성변화에 따른 공연비 변화가 있다. 현재 국내의 자동차용 LPG는 부탄(C₄H₁₀)을 주성분으로 하고 있고, 겨울철 냉시동성 개선 등을 위하여 프로판(C₃H₈)을 첨가하고 있으며, 이것은 물론 지역별이나 정유사별로 조금씩 차이가 날 수 있다. 일반적으로 겨울철에 사용되는 LPG 연료의 부탄과 프로판의 비율은 약 7:3정도이다. 이는 기존의 Mixer 타입의 LPG엔진은 온도가 영하로 떨어지게 되면 부탄 100%연료의 경우, 낮은 연료증기압에 의하여 LPG탱크내 연료가 엔진으로 원활하게 공급되지 않아 겨울철 시동자체가 불가능하게 되는 경우가 발생하게 되고, 따라서 부탄에 비하여 동일온도에서 증기압이 높은 프로판을 첨가하여 겨울철 시동성과 운전성 확보가 동시에 가능하게 하기 위한 것이다. 하지만 현재의 LPG인젝션 시스템의 경우와 같이 연료를 펌프로 압송하는 구조에서는 이러한 문제가 발생되지 않는다. 오히려 시중연료자체가 계절별로 조성을 다르게 하여 시판되기 때문에 결과적으로 연료조성에 따라 연료펌프의 목표압을 다르게 설정해야 하는 문제가 발생하게 된다⁷⁾. 또한, 이러한 연료조성의 변화는LPG 연료분사시스

FTP75 모드에 의한 LPG액상분사자동차의 배출가스 및 나노입자배출특성

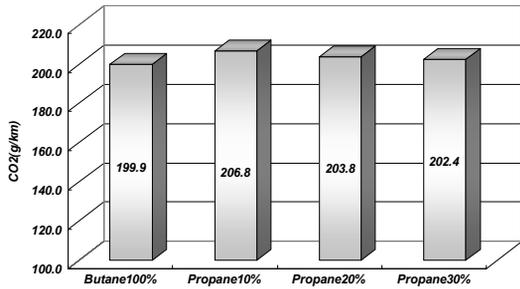
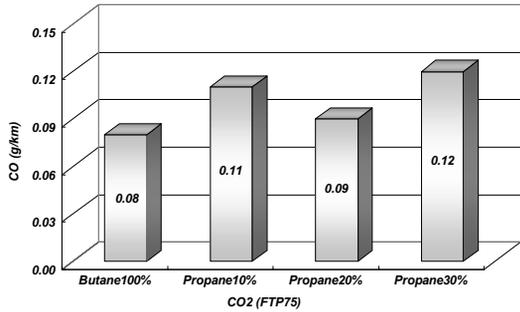
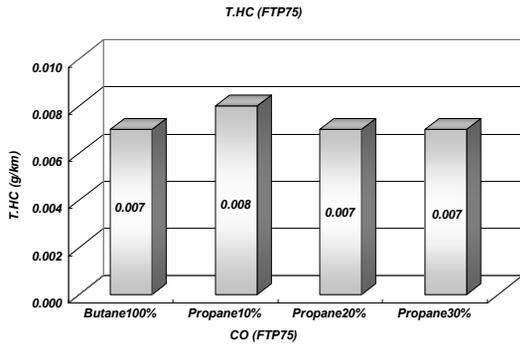


Fig. 3 Vehicle Emission test results according to additive propane rate

템을 장착한 자동차의 경우 엔진의 시동성능에 영향을 미치는 것은 물론 연료펌프의 성능변화에도 영향을 미치는 원인으로 작용한다^{8,9)}.

따라서 본 논문에서는 LPG액상분사 시스템을 장착한 차량을 대상으로 연료조성에 따른 연비 및 배출가스 시험을 FTP75 모드를 이용하여 시험을 실시하였고, 그 결과는 아래의 그래프와 같다.

Fig. 3은 FTP 75 모드에서 LPG 연료의 프로판 첨가 비율에 따른 배출가스 결과를 나타낸 그래프이다.

부탄 100%의 경우 프로판이 첨가된 경우 보다

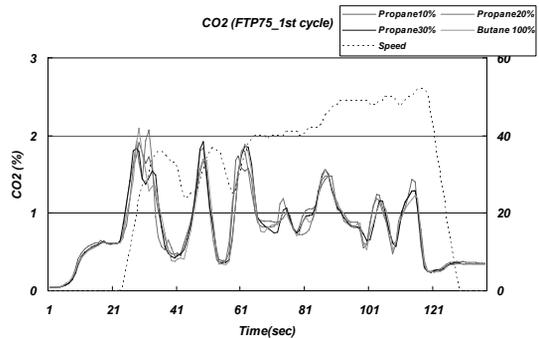
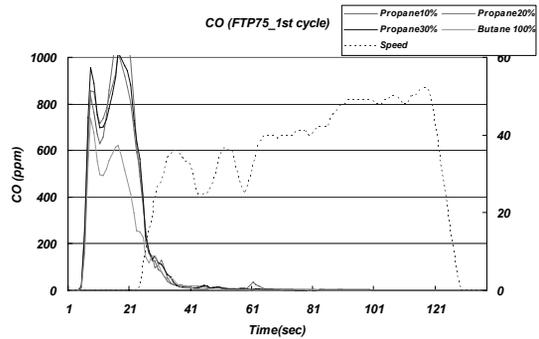
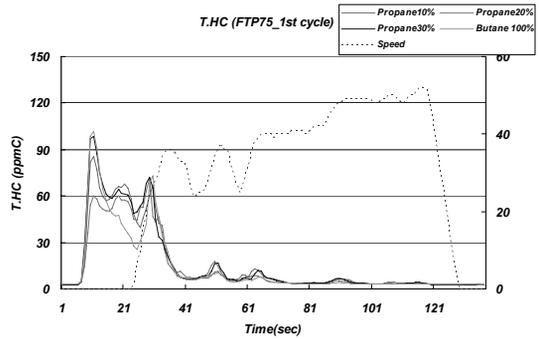


Fig. 4 Characteristics of emissions according to additive propane rate on cold start

T.H.C, CO 및 CO₂배출량이 가장 적게 나왔으며, 프로판 10%에서 THC와 CO₂는 가장 많이 배출되는 특성을 나타냈다. 이후 더 많은 프로판 첨가에 따라서는 점진적으로 감소하는 경향이다. 그러나 이들의 편차는 시험 오차내의 범위에 속하는 값으로 큰 의미는 없지만 일정한 경향성을 나타내고 있었다.

한편, FTP75모드 시험은 예비주행후 차량을 2

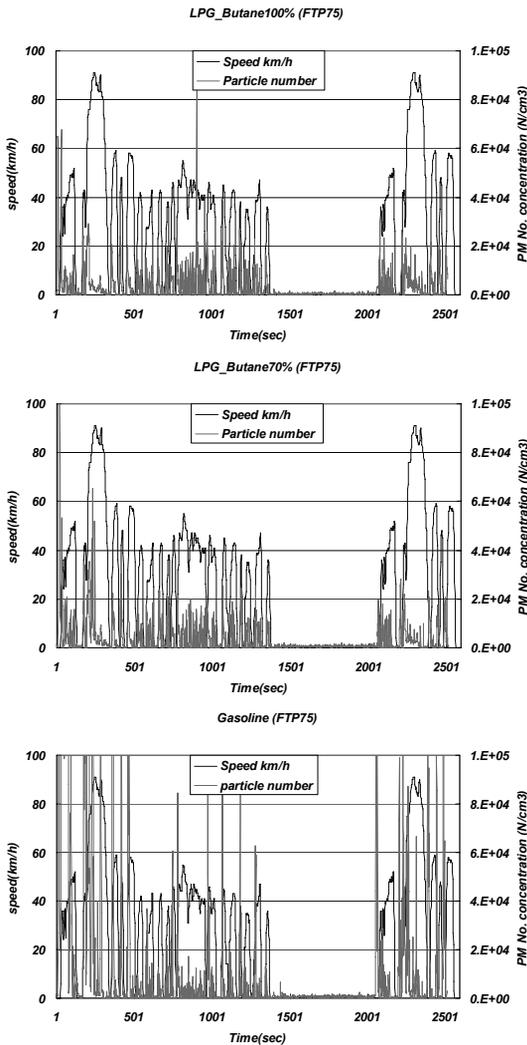


Fig. 5 Characteristics of particle number concentration according to FTP75 mode

5°C가 유지되는 실험실에서 12시간 이상 방치한 후 시험을 수행하고, 시동후 20초만에 차대동력계 상에서 주행을 하게 된다. 이 때 차량의 냉간 시동 시와 시동 후 100초이내 배출되는 배출가스의 양이 저공해, 초저공해자동차를 결정하는 가장 중요한 기간이라고 볼 수 있다.

Fig. 4에 냉간시동시인 phase 1 중에서 시동 후 100초 이내의 실시간으로 측정된 배출가스 데이터를 나타냈다.

자동차의 제작년도와 주행거리에 따라 초기 배출경향은 상당히 차이가 난다고 볼 수 있으며, 특히 이러한 차이는 시동후 엔진과 후처리장치가 워밍업 되기전인 냉간초기에 배출되는 배출량이 전체 배출량을 지배하고 있기 때문이다.

따라서 LEV규제, ULEV규제에 대응하기 위하여 자동차에서 배출되는 냉간 초기 배출가스 값은 상당히 달라진다고 볼 수 있다. 냉간 상태인 첫 번째 사이클에서 부탄 100%의 경우, 프로판을 첨가한 경우와 비교하여 THC, CO의 경우는 시동초기 20초 부근까지 상대적으로 적게 배출되는 것으로 나타났다. 이는 겨울철 냉시동성 확보를 위한 프로판 첨가의 경우 부탄 100%연료에 비하여 증기압이 높아 빨리 기화되어 부피 팽창에 의한 흡입공기량 감소로 국부적으로 농후한 혼합기를 형성하게 되고 이는 FTP75모드의 시동조건인 상온(25°C)에서의 시동성에는 오히려 좋지 않은 영향을 미치는 것으로 보인다. 하지만 시동후 20초 뒤에 주행이 시작된 후 부터는 거의 대등한 배출수준을 보이고 있다. 그러나 CO₂의 경우는 부탄 100%와 프로판이 첨가된 경우가 거의 대등한 배출수준으로 나타났다.

3.2 프로판 첨가에 따른 나노입자 배출특성

LPG 액상분사 시스템 자동차의 경우 가솔린 MPI 자동차의 기술을 base로 하고 있다. 따라서 본 논문에서는 배기량 2.0L급의 차량의 가솔린, LPG 및 LPG 연료 조성별로 동일모델의 차량을 대상으로 FTP75 모드를 이용하여 사용연료에 따른 자동차의 미세입자 배출특성 시험을 수행하였다.

Fig. 5는 FTP 75 모드 시험 기간 동안 실시한 나노입자 배출특성그래프를 나타낸 것이다.

LPG 자동차나 가솔린자동차의 나노입자배출 경향은 다른 배출가스와 마찬가지로 냉간 시동상태인 Phase1에서 상대적으로 많이 배출하고 있는 것을 볼 수 있다. 이는 냉간 시동 시 엔진의 빠른 워밍업을 위하여 연료량을 상대적으로 증량분사를 하게 되고, 이는 연소실내에 국부적으로 농후한 혼

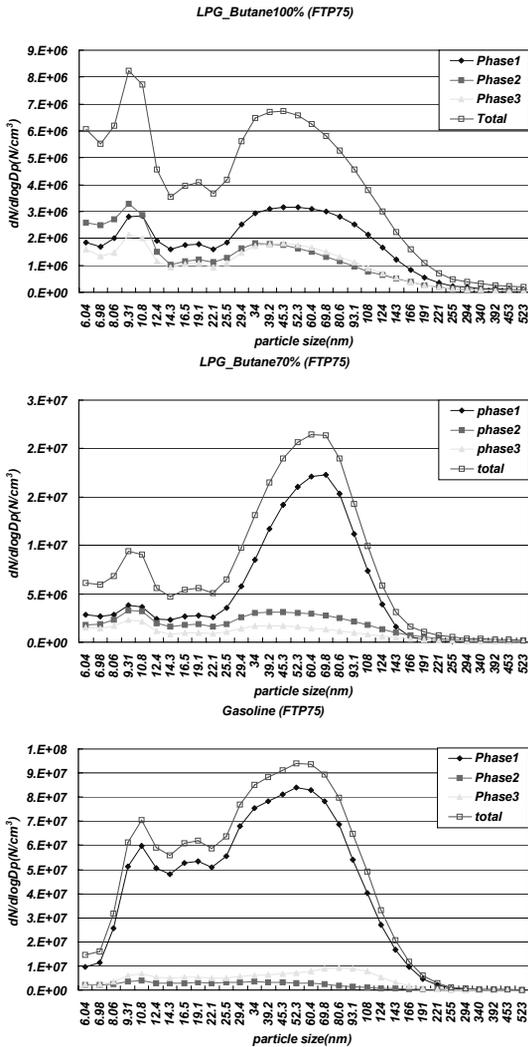


Fig. 6 Particle size and number according to FTP75 mode

합기를 형성함으로써 상대적으로 불완전연소를 동반하게 된다. 하지만 엔진이 충분히 워밍업이 되어 안정화된 phase2와 온간시동상태인 phase3에서는 상대적으로 나노입자의 배출이 현격히 적은 것을 알 수 있다.

Fig. 6은 LPG 연료의 조성과 가솔린 연료에 대한 나노입자 크기별 분포를 나타낸 그림이다. LPG 및 가솔린 연료 모두 냉간시동 인 phase 1에서 대부분의 나노입자가 배출되고 상대적으로 phase 2와 phase3에서는 미량 배출되는 경향을 나타냈다.

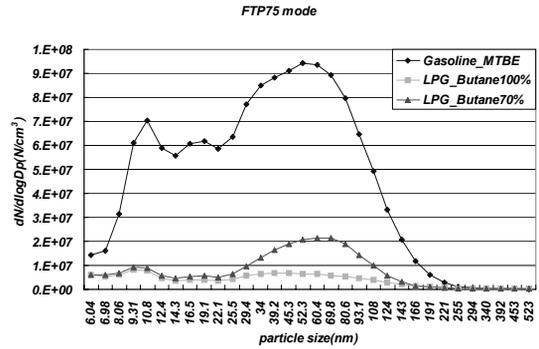


Fig. 7 Comparison of particle size and number according to each fuel

부탄 100%의 경우 Fig. 7에 나타난 바와 같이 부탄 70%와 가솔린에 비해 나노입자의 크기에 관계 없이 미량 배출되는 것으로 나타났다. 부탄 70%의 경우는 30nm-100nm 크기의 나노입자가 주류를 이루고 있었으며, 가솔린의 경우는 150nm 이하의 나노입자가 상대적으로 매우 많이 배출되는 것으로 나타났다.

그리고 그림에 나타난 바와 같이 LPG 차량이 가솔린 차량에 비해 상대적으로 적은 량의 나노입자 배출 경향을 나타냈다. 이는 LPG연료가 가솔린 연료에 비하여 저탄소연료이고 냉간시동시의 기화성이 우수한 것에 기인하는 결과라고 사료된다.

4. 결 론

본 논문에서는 가솔린 및 디젤연료에 비하여 청정연료로서 주목받고 있는 LPG자동차의 겨울철 냉시동성 개선을 위하여 첨가하고 있는 프로판 첨가에 따른 LPG자동차의 배출가스를 측정하였고, 또한 현재 디젤자동차에서 주로 발생하는 입자상 물질 중 극미세입자를 LPG와 가솔린 자동차에 대하여서도 측정하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 1) 프로판의 첨가량에 관계 없이 배출가스는 거의 동등한 수준으로 배출되었다.
- 2) 냉시동성개선을 위하여 프로판이 첨가된 경우 FTP75모드의 상온(25℃) 시동조건에서는 시동

- 초기 20초까지는 오히려 부탄 100%의 연료에 비하여 THC와 CO가 많이 배출되었다.
- 3) FTP75 모드에서 LPG 및 가솔린자동차의 나노입자배출의 경향은 다른 배출가스와 마찬가지로 냉간 시동상태인 Phase1에서 상대적으로 많이 배출하고 있는 것을 알 수 있고, 이 양이 전체 배출량을 지배하고 있는 것을 알 수 있다.
 - 4) 부탄 100%의 LPG 연료는 입자 크기에 상관없이 고루 분포되었고 총량으로 가장 적은 나노입자를 배출하였고, 부탄 70%의 경우는 30nm-100nm의 나노입자 배출이 부탄 100%의 경우 보다 두 배 이상 많은 양을 배출하였다. 한편 가솔린 연료는 150nm이하의 나노입자가 LPG 자동차에 비해 상대적으로 많은 양을 배출하는 경향을 나타냈다.

후 기

본 논문은 산업자원부 산하 에너지관리공단에 서 지원되는 “중소형 LPG 상용차 개발사업”의 연구비로 수행되었으며, 관계기관에 감사의 뜻을 표합니다.

참 고 문 헌

- 1) “Greenhouse gas emission from a typical passenger vehicle” EPA420-F-05-004 Feb.2005.
- 2) CFR Title 40, Chapter 1, Part 600, Fuel Economy of Motor Vehicle (FT P75)-EPA.
- 3) H.K Lee, Y.T Kim, J.I Ryu, “CO₂ emit and fuel economy characteristics for propane mixing rate of the LPG vehicle”, KSAE Annual conference proceeding 2008, Nov., pp. 839-845.
- 4) David B. Kittelson, Megan Arnold and Winthrop F. Watts, “Review of diesel particulate matter sampling methods”, University of Minnesota, Diesel research center-research final report, 1999.
- 5) David B. Kittelson, “Measurement of engine exhaust particle size”, Pre-presentation review, 2000. 8
- 6) Jin wook, Lee “Measurement technologies and evaluation of diesel nano-particle” KASE Auto journal Vol. 27 No. 4 pp. 9-15 2008.
- 7) Woojik Lee, Intak kim, Seungwook Yang “Develope of HMC Mono LPG Injection System” KSAE Annual conference proceeding 2004, Spring, pp. 159-167.
- 8) Cheol woong Park, Chang up Kim, Kyonam Choi “A Study on Performance Characteristics According to the Fuel Conditions for a Fuel Pump in LPG Engine” KSME-B, Vol. 32, No. 4, pp. 266-274, 2008.
- 9) Seongwon Choi, Hochul Kwak, Cha-Lee Myung, Simsoo Park “An Experimental Study on Individual HC Emission Characteristics and Startability for Various Composition Ratio of LPG Fuel on LPLi Engine” KSME-B Vol. 31 No. 3 pp. 234-241 2007.