

LPG와 가솔린 연료의 차량 배출가스 특성에 대한 비교 연구

A Study on the Exhaust Emission of LPG and Gasoline Vehicle

정 성 환*, 한 상 명*
Sunghwan Chung, Sangmyeong Han

ABSTRACT

As the interest on the air pollution is gradually rising up at home and abroad, automotive industries have been working on the exhaust emission reduction from vehicles through a lot of approaches, which consist of new engine design, innovative aftertreatment systems, and using clean fuels. Methanol, ethanol, LNG, LPG, H₂, reformulated gasoline are generally recognized as the clean fuel. Since the low price policy of government on LPG has expanded its vehicle market recently, there is concern of the exhaust emission of LPG vehicle. In this paper, we studied the value of LPG fuel as a clean fuel by comparing the results of the exhaust emission from LPG and Gasoline fueled vehicles, and discussed its limitation of LPG vehicle with mixer type as a fuel supply system. FTIR was used to understand the difference of exhaust emission components of LPG and Gasoline fueled vehicles.

주요기술용어 : LPG(Liquefied petroleum gas), FTIR(Fourier transfer infrared), FID(Flame ionization detector), CLD(Chemiluminescent detector), NDIR(None-dispersive infrared), CVS(Constant volume sampler)

Nomenclature

T : tail out emission

E : engine out emission

1. 서 론

대기 환경 보전에 대한 관심이 세계 각국에서 점점 더 고취되어 가면서 환경 규제에 대한 목소리가 높아지고 있으며, 이러한 흐름은 국외뿐 아니라 국내에서도 KOREA2000, KLEV, KULEV 등

으로 차량 배출 가스 규제의 강화로 나타나고 있다. 이러한 규제에 맞추어 차량의 배기 성능을 향상시키기 위한 더 많은 노력들이 진행되고 있으며, 주요 연구 및 개발 대상으로는 자동차 엔진의 설계 측면과 새로운 배기 가스 후처리 시스템 개발, 청정 연료를 이용한 배기 가스 저감 등이 있다.^{1,2)}

청정 연료로는 수소, 메탄올, 에탄올, LNG, LPG, 개질 가솔린 등이 거론되고 있으며 현재 국내에서는 LPG연료의 저가 정책에 기인하여 LPG차량이 상당량 보급되어 있고 점차 확대되고 있는 추세이다. 본 연구에서는 현재 국내에서

* 회원, 대우자동차

판매되는 LPG차량을 대상으로, LPG차량의 연료 공급 장치로 사용되고 있는 믹서 방식이 LPG가 청정 연료로서의 가치를 유지하도록 뒷받침할 수 있는지를 차량 상태의 배출 가스 특성을 가솔린 차량과의 비교를 통해 확인해 보고 추후에 전개되어야 할 청정 연료로서의 LPG의 개발 방향에 대하여 논의하였다.

2. 본 론

2.1 시험 장치

2.1.1 배출 가스 분석기

차량에서 배출되는 유해가스를 분석하기 위한 배출 가스 분석기는 Pierburg사의 AMA2000을 사용하였다. AMA2000은 시료를 채취하기 위한 방법으로 CFV-CVS방식을 채택하고 있고 측정온도계의 정도와 압력계의 정도는 규제를 만족하고 있다. 전체적인 배출 가스 분석에 영향을 주는 CVS(Constant Volume Sampler)는 성능확인 검사 시 최대 오차가 0.186%로서 양호한 상태를 보이고 있다.

배출 가스를 분석하기 위한 장치로는 CO, CO₂ 분석에는 NDIR(Non-Dispersive Infrared) 방식을 사용하였고 이 장치의 측정 범위는 CO는 0-150ppm, CO₂는 0-3.6%까지 가능하다. HC는 FID(Flame Ionization Detector)방식을 사용하였으며 측정 범위는 0-100ppmc이고, NO_x의 경우는 측정 범위가 0-150ppm인 CLD(Chemiluminescent Detector) 방식을 사용하였다.

2.1.2 FTIR(Fourier Transfer Infrared)

위의 배출 가스 분석기는 배출 가스의 개별적인 성분을 다 검출하지 못하고 크게 HC, CH₄, CO, NO_x, CO₂ 등으로 밖에 구분하지 못하기 때문에 실제로 배출되는 가스의 상세 성분을 분석하기 위해서는 FTIR을 사용해야 한다. 본 시험에서는 FTIR을 사용하여 약 30여 가지의 배출 가스를 분석하였다.

분광계(spectrometer)의 작동 원리는 Fig. 1에 나타나 있는데, 90° Beam Michelson Interferometer(간섭계)가 있고 여기에 2개의 거울과 beam divider가 달려 있다. 거울 2개는 수직으로 서로 마주보고 있으며, 하나는 고정되어 있고 다른 것은 광선의 방향을 따라 움직인다.

또, beam divider는 IR 광원에서 발산된 빛을 분해하여 두 거울 쪽으로 보내면 다시 거울에서는 beam divider에 beam파편을 반사하고 겹치게 한다. 측정하는 동안, 움직이는 거울은 정해진 범위 내에서 계속 이동하여 2개의 beam path의 길이가 변하는데 그 결과 beam 파편이 겹치는 동안 간섭이 생기고, 이때 IR감지기가 모든 간섭의 패턴을 기록하는데, 이것은 배출 가스 스펙트럼의 Fourier 변환을 나타내므로 FFT(Fast Fourier Transformation)를 이용하여 각 기체 고유의 흡수 분광(Absorption spectrum)을 얻는다. 이미 알고 있는 배출 가스 농도를 취한 reference spectrum에 있는 각각의 흡수 분광선을 비교해서 분석하고, 서로 다른 가스 간의 간섭 역시 고려되어 농도를 계산한다.

FTIR성능은 10~100%농도에서 ±1% 이내의 선형성을 가지며, 3초마다 측정한다. 가스 셀의 경우 광학 길이가 21.75m이고 KBr창을 가진다.

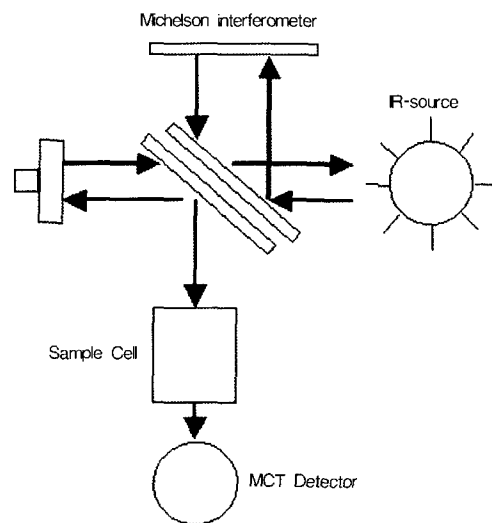


Fig. 1 FTIR Spectrometer 작동 원리

분광계(spectrometer)의 경우 범위는 $3800\text{cm}^{-1}\sim 650\text{cm}^{-1}$ 이고 파장의 정확도는 0.01cm^{-1} 이고 IR광 원으로는 탄화 규소 발광체(Carborundum glower)를 사용하며 스캔 속도는 1Hz이다.

2.1.3 Dynamometer

차량의 실 주행 특성을 시험실에서 모사할 수 있는 동력계로는 Hydraulic 방식의 동력 흡수장치를 사용하는 Clayton사의 차량 동력계를 사용하였고, 8.65인치 twin roller로 되어 있다.

2.1.4 시험 차량

시험 차량은 가솔린 차량으로 매그너스 2.0 DOHC AT 차량을 사용하였고, LPG 차량으로는 매그너스 2.0 SOHC AT 차량을 사용하였다.

차량의 사양과 배기 가스 촉매 정화기의 제원은 Table 1에 기술하였다.

2.2 시험 방법

2.2.1 모드 주행 시험

배출 가스의 분석은 차량의 일정 모드 주행 중에 배출되는 유해 가스를 포집하여 분석하는데 현재 국내에서는 FTP-75 모드가 연비 및 배출가스 인증의 기본 모드로 선정되어 있기 때문에 본 연구에서도 FTP-75모드를 사용하여 배출가스 분석을 하였다.

FTP-75 모드는 차량의 총 주행 시간이 1,878초이고 소킹 시간을 포함하였을 때는 2,478초가 모드 운전 시간이 된다. 차량의 주행 평균 속도는 34.1km/h 이고 주행거리는 17.76km , 최고 속도는 91.4km/h 가 된다. FTP-75 모드는 총 23개의 사이클로 구성되며 3개의 Phase로 구분 된다. 이중

Table 1 The specification of the test vehicles

Fuel	배기량 (liter)	Valve type	Converter PM ratio (Pt/Rd/Rh)
가솔린	2.0	DOHC	0/5/1
LPG	2.0	SOHC	0/5/1

Phase 1과 Phase 3는 같은 형태를 띄고 있으며 각각 5개의 cycle로 구성되어 있다. Pierburg사의 AMA2000을 사용하여 각 Phase 마다 일정량을 포집하여 Phase별로 배출가스를 분석하고 이를 합하여 보정된 결과를 나타낸다. 또한 1초 마다 배기 파이프 출구 및 엔진 출구에서의 배출가스의 농도를 측정하여 차량의 주행 상태에 따른 배출가스 분포를 확인할 수 있다.

배출가스 측정 위치 및 장비의 구성도는 Fig. 2와 같다.

3. 시험 결과

3.1 배출 가스 분석 결과

차량의 배출가스 결과는 Table 2와 같다.

결과에서 알 수 있는 바와 같이 엔진 출구 결과에서는 LPG차량의 경우 가솔린 차량에 비하여 HC가 57%, NOx가 40% 저감 되었다. 포집백 결과는 정화기의 정화 효율로 인해 엔진 출구 결과에 비하여 연료에 대한 영향성보다는 정화기 성능과 공연비 제어 조건에 더 많은 영향을 받는다. 이 시험에서는 동일 촉매 정화기(귀금속량, 열화 시간)를 사용하였기 때문에 포집백 결과와 엔진 출구 결과의 특성 차이는 공연비 제어 차이에 기

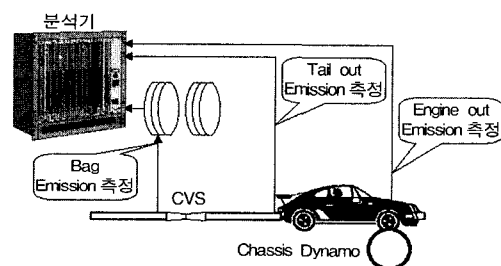


Fig. 2 Diagram of emission test cell

Table 2 Emission results on FTP-75 mode

	Sampling point	HC (g/km)	CO (g/km)	NOx (g/km)
가솔린	Bag	0.096	0.410	0.130
	Eng.	1.285	5.631	3.206
LPG	Bag	0.063	0.422	0.039
	Eng.	0.553	5.571	1.938

인한다고 판단된다. LPG차량은 엔진 출구 결과를 기준으로 HC는 가솔린 차량의 43%, CO는 99%, NOx는 60%를 나타내는데 비하여 포집백 결과는 HC가 67%, CO는 103%, NOx는 30%로서 가솔린 차량보다 공연비가 약간 농후하게 제어되었음을 알 수 있다. 실제로 가솔린 차량의 경우 정속 구간에서 1.017, LPG차량의 경우 0.996으로써 미묘한 차이의 당량비가 정화기의 정화효율에 영향을 미친 것으로 판단된다.

차량의 FTP-75 모드 주행 시의 특징을 살펴보면 엔진 출구 결과에서 Phase에 따른 배출가스의 분포상황이 HC, CO, NOx 각각에 대하여 Phase 1과 Phase 3가 약 25%, Phase 2가 약 50% 정도를 나타내고 있다. 이러한 경향은 LPG나 가솔린 차량 모두에서 같은 경향을 나타내고 있고 Table 3에 상세한 값들이 기술되어 있다.

배기 파이프 출구 결과를 살펴보게 되면 LPG 차량과 가솔린 차량의 전체 배출량에 대한 cycle1의 비율이 상이하다는 것을 알 수 있다. LPG차량이 가솔린 차량에 비하여 NOx가 전체

적으로 적게 나오지만, 초기 시동 구간에 LPG차량은 가솔린 차량보다 공연비를 희박 제어하기 때문에 cycle 1에서의 배출량 비율이 89.4%까지 이르는 것으로 판단된다. CO의 경우 LPG차량 초기 시동 시 희박 공연비 제어의 영향에 따라 cycle 1에서의 엔진 출구 CO배출량이 적고 배기 파이프 출구 CO의 비율이 상대적으로 작은 것으로 판단된다.

가솔린 차량의 경우 냉 시동 시의 흡기 포트에서의 기화 불량(Wall Wetting)으로 인하여 공연비의 농후 제어 경향이 나타나지만, Fig. 4(b)에서 알 수 있듯이 LPG차량의 경우 믹서 방식으로 기체 연료를 공급하며 공급 위치가 연소실로부터 가솔린 차량의 MPI방식에 비하여 멀리 떨어져 있어서 연료가 혼합되는 데 충분한 시간이 주어지기 때문에 크랭크 시를 제외한 냉 시동 초기 구간에서 HC, CO를 저감하기 위해 시동성에 문제 없이 희박 공연비 제어가 가능하다.

따라서 공연비의 특성에 따라 영향을 많이 받는 배기 파이프 출구 CO배출이 초기 1번 cycle에서 차지하는 비율이 가솔린 차량에 비하여 상당히 작게 된다.

Table 3 Distribution of engine out emission rate in each phase

Fuel	Phase	Percentage (%)		
		HC	CO	NOx
가솔린	Phase1	24	22	23
	Phase2	53	54	48
	Phase3	23	24	29
LPG	Phase1	25	26	25
	Phase2	51	47	46
	Phase3	24	27	30

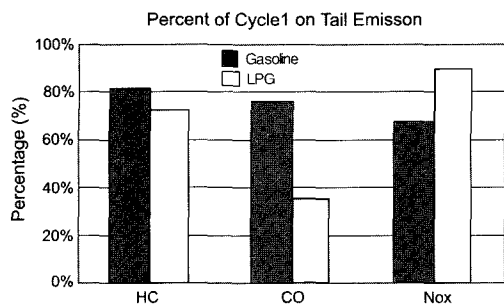


Fig. 3 Emission trend of the first cycle in FTP-75 mode

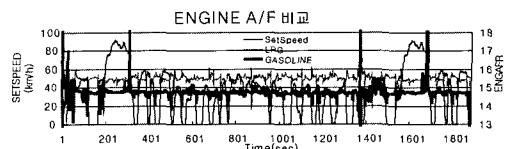


Fig. 4 (a) Engine A/F ratio in FTP-75 mode

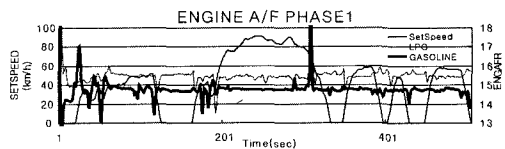


Fig. 4 (b) Engine A/F ratio in phase 1

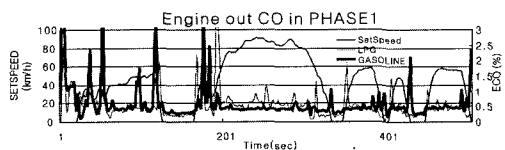


Fig. 4 (c) Engine out CO emission in phase 1

CO의 경우 HC, NOx보다는 배출량이 많기 때문에 공연비에 의한 영향을 더 확실히 볼 수 있는데, Fig. 4(c)에서는 LPG차량은 희박 제어되는 공연비에 의해 냉 시동 시의 저감된 엔진 출구 CO 배출량을 잘 보여주고 있다.

Fig. 5에는 가솔린 차량과 LPG차량의 엔진 출구 배출 가스 결과가 비교 되어 있다. 엔진 출구 HC는 LPG차량이 가솔린 차량의 43% 정도로 배출이 되고 있고 특히 초기 냉 시동 시에 그 특징이 잘 나타남을 알 수 있다. 이는 연료 공급 방식에 의한 초기 공연비 제어 방법이 두 연료 사이에 차이가 있기 때문이다. 또한 엔진 출구 NOx의 경우도 가솔린에 비하여 60% 정도로 상당히 적게 나옴을 알 수 있으며, 이는 가솔린 차량의 연소 온도가 LPG차량의 연소 온도보다 높기 때문인 것으로 사료된다. 실제로 엔진 연소 온도를 측정하지는 않았지만 차량의 촉매 정화기 담체 온도를 측정한 결과는 가솔린 차량의 경우가 LPG차량에 비하여 약 20°C-100°C 가량 높은 것으로 나타났다.

Fig. 6을 살펴보면 가솔린 차량에 비하여 LPG 차량의 공연비 변화가 심함을 알 수 있다. 이에 따라서 엔진 출구 CO가 같이 변화하고 배기 파이프 출구 CO역시 많은 변화를 보이면서 LPG차량의 CO가 다량 배출되고 있음을 알 수 있다. 이

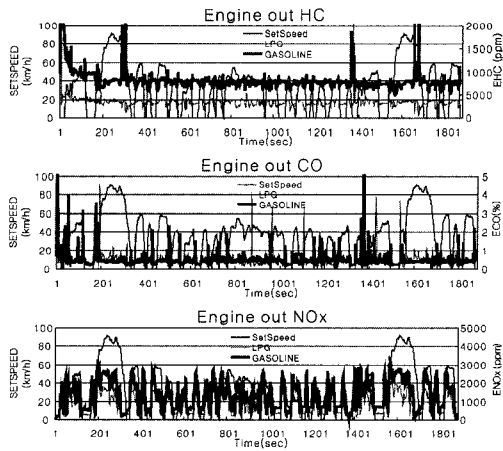


Fig. 5 Engineout emission comparison between LPG and gasoline vehicle

러한 배출 가스 변화 특성은 CO배출에서 차이가 두드러지게 나타난다. 때문에 LPG차량의 CO배출량을 감소시키기 위해서는 현재와 같은 믹서에 의한 카부레타 방식보다는 O2 센서와 연료 분사 위치간의 거리를 줄여 공연비 제어가 빠르게 반응하도록 하는 LPI방식이 필요하다고 판단된다.³⁾

3.2 FTIR 결과

FTIR을 이용하여 포집백에 채집되어 있는 배출가스를 성분별로 분석하였다.

VOC계열 중에서 미국 환경부(EPA)에서 지정한 공해물질은 1,3부타디엔, 아세트알데히드, 포름알데히드, 벤젠이 있는데 대부분 발암 물질로 알려져 있다. 이 중 1,3부타디엔을 제외하면 Table 4에서처럼 LPG차량 보다 가솔린 차량의 배출물이 더 많다. 포름알데히드의 경우 촉매 예열 후 PH2, PH3에서는 배출물이 적은 특성이 나타나지만, 그 외의 성분은 전 구간에서 배출되고 있다.

알데히드와 케톤류의 카르보닐기 종류에서는 포름알데히드, 아세트알데히드가 70%이상을 차지하는 것으로 알려져 있다.⁴⁾ Table 4의 결과를 참고할 때, 카르보닐기에서는 LPG가 가솔린 차량에 비해 유리함을 알 수 있다.

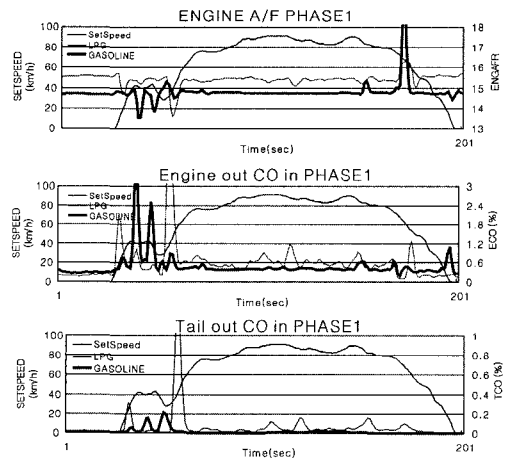


Fig. 6 Comparison of A/F effects on CO emission

Table 5는 FTIR로 분석된 다른 성분을 나타낸 것이다. 이 중 산화된 연료 첨가물로 인해 포름산 같은 유기물이 공해를 유발하며, MTBE의 부분적인 연소에 의해 메탄올이 생성이 되는 것으로 알려져 있다.

또한 질산화물의 경우 모든 성분이 가솔린이 LPG보다 배출물이 많음을 알 수 있다. N₂O의 경우는 최근 온실효과에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다.⁵⁾ 암모니아의 경우 배출 가스가 농후할 경우 증가하는데, LPG의 경우 연료 속 첨가제로 포함되어 상대적으로 많이 배출되고 있다. 하지만 알칸, 알켄, 알킨 및 방향족 성분은 LPG차량의 배출물이 더 많음을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구를 통해 LPG차량과 가솔린 차량의 엔진 출구 배출 가스와 배기 파이프 출구 배출 가스 특성을 비교 할 수 있었고 그 결과는 다음과 같다.

1) 가솔린 차량에 비하여 LPG차량의 엔진 출구 배출 가스가 저감 되었고, 특히 HC와 NOx는 각각 57%, 40%정도 저감 되었다. 이는 HC의 경우 희박 공연비 제어로 인해 초기 시동 시 배출량이 적고 단순한 분자 구조로 가솔린에 비하여 완전 연소가 이루어 지기 쉽기 때문이며, NOx의 경우 LPG차량의 연소 온도가 가솔린 차량보다 낮기 때문에 LPG차량의 NOx가 저감 되는 것으로 판단된다.

2) FTIR로 배출 가스를 성분을 분석하였을 때, VOC계열과 카르보닐 기에서는 LPG차량이 가솔린 차량보다 배출량이 적다. 하지만, 알칸, 알켄, 알킨 및 방향족 성분은 LPG 차량이 많이 배출한다.

3) LPG차량은 HC, NOx를 저감 시키는데 충분히 청정 연료로서의 가치가 있으나, CO를 저감시키기 위해서 연료 공급의 응답성이 좋고 공연비 제어가 용이한LPI방식으로의 변경이 필요하다.

Table 4 FTP 배출가스 결과(g/test)

Fuel type	Phase	1,3부타 디엔	아세트 알데히드	포름알 데히드	벤젠
가솔린	PH1	0.195	0.163	0.023	0.14
	PH2	0.349	0.186	0	0.08
	PH3	0.066	0.173	0	0.00
	TOT	0.610	0.522	0.023	0.22
LPG	PH1	1.039	0.045	0.008	0
	PH2	0.695	0.09	0	0.01
	PH3	1.075	0.115	0	0
	TOT	2.809	0.251	0.008	0.01

Table 5 FTP 배출가스 결과(g/test)

	포름알 데히드	에탄올	NO ₂	NO	N ₂ O
가솔린	0.007	0.522	0.018	1.929	0.383
LPG	0	0.251	0	0.658	0.270
	암모 니아	알칸	알켄	알킨	방향족
가솔린	1.162	5.188	1.253	0.189	0.567
LPG	7.311	6.667	4.208	0.367	2.268

참 고 문 헌

- 1) E. Higinbotham, B. Platz, W. Clark, "Effect of Selected LPG Fuel Components on Speciated Exhaust Emissions," SAE 961990, 1996.
- 2) A. Gerini, G. Monnier, R. Bonetto, "Ultra Low Emission Vehicle Using LPG Engine Fuel," SAE 961079, 1996.
- 3) B. R. Lutz, R. H. Stanglmaier, R. D. Matthews, J. Cohen, R. Wicker, "The Effects of Fuel composition, System Design, and Operating Conditions on In-System Vaporization and Hot Start of a Liquid-Phase LPG Injection System," SAE 981388, 1998.
- 4) W. O. Siegel, "A Comparison of the Emissions from a Vehicle in Both Normal and Selected Malfunctioning Operation Modes," SAE 961903, 1996.
- 5) N. Koike, M. Odaka, "Methane and Nitrous Oxide(N₂O) Emission Characteristics from Automobiles," SAE 960061, 1996.