

비황분계 부취제를 혼합한 LPG 연료의 차량 배출가스 특성에 관한 연구

A Study on the Exhaust Emissions Characteristics of LPG Vehicle using LPG Fuel with Sulfur Free Odorant

김재곤* · 이호길¹⁾ · 임의순 · 정충섭

한국석유관리원 석유기술연구소, ¹⁾자동차부품연구원 가스엔진 시스템 R&D센터
(2014년 8월 31일 접수, 2014년 9월 28일 수정, 2014년 11월 24일 채택)

Jae-Kon Kim*, Ho-Kil Lee¹⁾, Eui Soon Yim and Choong-sub Jung

Research Institute of Petroleum Technology, Korea Petroleum Quality & Distribution Authority (K-Petro)

¹⁾*Gas Engine System R&D Center, Korea Automotive Technology Institute*

(Received 31 August 2014, revised 28 September 2014, accepted 24 November 2014)

Abstract

In general, odorant was added to fuel gases, such as LPG, LNG and city gas, to prevent gas poisoning, ignition, explosion, or other accident caused by fuel gases, and to enable immediate and easy detection of fuel-gas leakage by emitting an offensive smell. This study describes a study on the exhaust emissions characteristics and fuel economy of liquefied petroleum gas (LPG) vehicle using LPG fuel with new sulfur free odorant. New sulfur free odorant was added to LPG to reduce sulfur content of the LPG. Its performance and exhaust emission were compared to those of LPG with sulfur containing odorant (EM, ethyl mercaptan). Engine performance using LPG with sulfur free odorant was similar to that with sulfur-containing odorant. Exhaust emissions from the LPG vehicle with LPG including sulfur free odorant were also similar to those with LPG including sulfur containing odorant in the FTP 75 and NEDC mode. There experimental results suggest that the sulfur free odorant may substitute for the sulfur containing odorant in LPG fuel.

Key words : Sulfur free odorant, Sulfur containing odorant, LPG fuel, LPG vehicle, Emission

1. 서 론

수송용 자동차의 배출가스는 연료품질, 연소기술 및 후처리기술 등 여러 가지 요인에 영향을 받게 되

고, 특히 이러한 연료품질은 연료계통 및 엔진의 연소에 직접적인 영향을 미쳐 배출가스 수준을 좌우하는 데 결정적으로 기여를 하게 된다. 휘발유, 경유 및 LPG를 연료로 사용하는 수송용 자동차의 배출가스의 규제가 강화되고 있다(Park *et al.*, 2013; Park *et al.*, 2012; Han *et al.*, 2009). 따라서 국내 자동차 보급의 급격한 증가에 따른 대도시의 대기환경오염을 해결

*Corresponding author.

Tel : +82-(0)43-240-7933, E-mail : jkkim@kpetro.or.kr

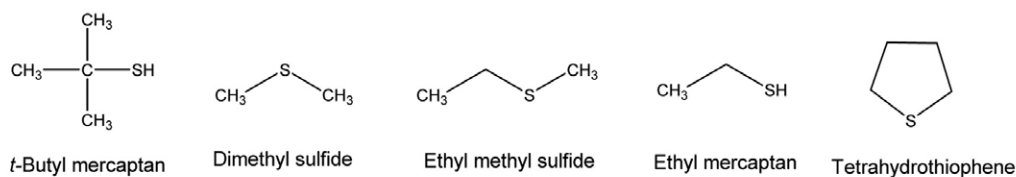


Fig. 1. Chemical Structure of sulfur containing odorants.

하기 위해 1990년 대기환경보전법이 개정되어 대기 오염물질 저감을 위한 자동차 연료 제조기준이 도입되었다. 국제적으로 최근 청정연료, 대개환경오염 개선 및 바이오연료 확대 보급에 따라 국내의 자동차용 휘발유, 경유의 품질기준 내 황분 함량도 국외 저황 분화 추세 (Thérèse and Elena, 2008)에 따라 2009년부터 10 ppm으로 강화되었다 (K-Petro, 2014). 특히, 국내 자동차용 LPG의 품질기준은 2000년 10월에 처음으로 제정되었으며, 액화석유가스 (Liquefied Petroleum Gas, LPG) 연료 내의 황분 품질기준 (K-Petro, 2014)은 초기 2,000 ppm 이하로 제한되었지만, 단계적으로 강화되어 2004년 100 ppm 그리고 2009년부터 40 ppm 이하로 규정하고 있다. 이에 따라 2011년부터 석유 및 석유대체연료 사업법과 액화석유가스의 안전관리 및 사업법 (K-Petro, 2014)에서도 LPG 연료의 황 함량을 대기환경보전법 수준인 40 ppm 수준으로 개정하여 품질관리하고 있다. 하지만, 2013년 수송용 연료로서 국내 전체 자동차 보급대수 중 12.3% (KAMA, 2013) 차지하고 있는데, LPG 연료도 자동차용 휘발유, 경유 연료와 동일 수준의 황 함량인 10 ppm으로 강화될 수 있는 방안이 요구된다.

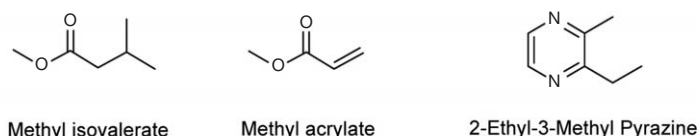
LPG, 도시가스, 공업용 가스 또는 천연가스 (natural gas) 등의 가스연료는 거의 무색 무취이기 때문에 이것들은 누설되어도 감지할 수 없고, 인화, 폭발 또는 중독 등의 재해를 일으키는 우려가 있다. 이러한 가스 연료 누출이 발생할 경우 그것을 인간의 후각으로 용이하게 감지하고, 사고를 미연에 방지하기 위하여 부취제가 첨가되고 있다 (Marvin *et al.*, 1978; Arthur *et al.*, 1976). 현재 국내에서 사용되고 있는 LPG 부취제는 황 성분을 포함한 황분계 부취제인 EM (Ethyl mercaptan), CP 630 (Ethylmethyl sulfide, Dimethyl sulfide, tert-Butyl Mercaptan) 및 vigileak 7030 (Dimethyl sulfide, tert-Butyl Mercaptan) 등의 비점이 높고 기화성이 낮은 황 화합물들을 사용하고 있다 (Wild *et al.*,

2006; Lee *et al.*, 2001) (그림 1). 이들 황분계 부취제는 대부분 황화합물로 구성되어 있어 국내에서 LPG 연료를 생산하고 있는 정유사와 수입사에서 LPG 연료에 일반적으로 10~20 ppm 첨가하고 있으며, 이에 따라 LPG 연료 내의 황 함량을 10~20 ppm 정도 증가시키고 있다 (KATECH *et al.*, 2009). 이러한 황분계 부취제는 가스연료에 첨가되어 폭넓게 사용되고 있으나, 황 화합물인 부취제에서 기인된 황분이 대기 중으로 아황산 (sulfur dioxide)이 배출되어 대기오염의 원인이 되고 있으며, 차량의 연료시스템과 연료공급 시설에서 금속부식을 초래할 수 있다. 또한, 연료전지 등의 LPG를 사용하는 새로운 기기 등이 개발되고 있는데 종래의 황분계 부취제를 사용할 경우 부취제를 제거해야 하는 문제점을 안고 있다 (Cui *et al.*, 2009; Farnk *et al.*, 2007; Imamura *et al.*, 2005). 따라서 이러한 문제점을 극복할 수 있는 황이 포함되어 있지 않은 비황분계 부취제의 개발에 대한 필요성이 대두되고 있으며, 현재 유럽 및 일본 등에서 개발하고 있거나 사용되고 있다 (Ruzsanyi *et al.*, 2007). 이러한 흐름에 따라 국내에서도 기존 황분계 부취제를 대체할 수 있는 LPG용 비황분계 부취제가 개발 (Kim *et al.*, 2009) 되어 이미 LPG 연료에 대한 적용성 평가가 이루어졌다 (Kim *et al.*, 2014a, b).

국내에서 개발된 LPG용 비황분계 부취제가 기존 황분계 부취제를 대체하기 위해서는 자동차용 LPG 연료에 첨가하여 사용할 때 LPG의 연료 품질과 차량에 아무런 영향이 없어야 기존 황분계 부취제의 인프라를 사용할 수 있다. 따라서본 연구에서는 현재 사용되고 있는 황분계 부취제를 대체할 경우 LPG 연료 중 황 함량을 10~20 ppm 낮출 수 있는 대안으로 각광받고 있는 비황분계 부취제를 자동차용 LPG 연료에 혼합하여 유해 배출가스 THC, CO, NOx와 온실가스 CO₂ 및 연비를 각 시험모드별로 실험하여 LPG 차량에 대한 적용성을 살펴보았다.

Table 1. Physical and chemical property of S-Free odorant.

No.	Odor materials	b.p (°C)	Status	Sulfur free odorant (%)				
				Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 4	Sample 5
1	Methyl isovalerate	116.16	Liquid	50	65	68	50	64
2	Methyl acrylate	80.35	Liquid	47	32	30	50	40
3	2-Ethyl-3-methyl pyrazine	120	Liquid	3	3	2	0	0

**Fig. 2. Chemical Structure of sulfur free odorants.**

2. 연구 방법

2.1 비황분계 부취제 및 LPG 연료의 조성

실험에 사용한 황분계 부취제인 EM (Ethyl mercaptan, Sigma-Aldrich사)은 시약급 순도 97%로 구입하여 사용하였다. 실험에 사용된 비황분계 부취제는 methyl isovalerate, methyl acrylate, 2-ethyl-3-methyl pyrazine의 3가지를 혼합하여 제조하였다. Methyl isovalerate (Sigma-Aldrich사)은 시약급 순도 99%로 구입하여 사용하였으며, methyl acrylate, 2-ethyl-3-methyl pyrazine은 각각 시약급 순도 99%로 TCI사에서 구입하여 사용하였다. 그림 2에서는 비황분계 부취제의 분자구조를 보여주고 있으며, 표 1은 비황분계 부취제를 구성하고 있는 각 부취물질 (odorant)들의 물리·화학적 특성과 혼합비율을 보이고 있다. 3가지 부취물질로 이루어져 있는 비황분계 부취제 (Kim *et al.*, 2009)는 무색투명한 액체로 평균 분자량은 108, 비중은 0.58 (15°C), 인화점은 7°C, 증기압은 79°C (25°C) 등의 물성을 지니고 있다. 실험에 사용된 LPG 연료는 LPG 2호(자동차용)로 겨울용 조성으로 국내 LPG 공급사에서 주문 제조되었는데 부취제 첨가 전의 황 함량은 바탕 LPG 시료의 1.98 mg/kg인데, 국내 정유사에서 생산되거나 손질된 LPG 연료는 부취제 첨가 전 통상 연료 자체에서 황 함량을 포함하고 있다. 표 2에는 본 연구에 사용한 겨울용 LPG 연료의 조성을 나타내고 있다. 표 3에 조성으로 제조된 겨울용 상업용 (conventional) LPG 연료에 황분계 부취제인 EM과 비황분계 부취제 혼합비율에 따라 시료 1

Table 2. Composition of LPG fuel in this study.

Compositions (mol %)	Base LPG for summer	Base LPG for winter
Propane	1.3	23.17
iso-Butane	49.5	27.14
n-butane	49.2	48.44
iso-butene		0.26
iso-Pentane		0.99

Table 3. Sulfur free odorant in aLPG applied in this study.

Sample	Odorant type	Winter LPG
Conventional	Sulfur containing	EM+Base LPG ^a
1 ~ 5	Sulfur free	Sulfur free odorant ^b +Base LPG

^aNo addition odorant but base sulfur content in base LPG is 1.98 mg/kg.

^bmixtures of 3 Sulfur free odorants.

~시료 5에 각각 첨가하였으며, 본 연구에서 사용된 LPG 연료를 표 3에 나타내었다.

2.2 평가 대상 LPG 자동차 및 배출가스 측정방법

표 4에 본 연구에서 평가한 시험차량의 제원을 나타내었다. 시험차량은 배기량 1,998 cc로서 1,500 kg의 NF 소나타급 LPG 차량이다. 시험모드는 현재 국내 및 북미의 배출가스 시험모드인 FTP75모드와 유럽의 배출가스 시험모드인 NEDC 모드로 수행하였으며, 그림 3과 그림 4는 FTP75모드와 NEDC모드의 주행패턴을 나타낸 것이다. FTP75모드에서 예비주행을 수행한

시험차량을 25°C에서 12시간 이상 항온항습시킨 후 배출가스시험을 진행하였다. Phase 1, 2의 시험을 진행한 후 10분간 차량을 상온 25°C에서 방치(Soaking)시킨 후 Phase 1과 같은 운전모드인 Phase 3의 시험

을 진행하였다. NEDC (ECE15+EUDC) 모드 역시 차량을 25°C에서 6시간 이상 방치한 후, 2개의 Phase로 구성된 운전모드에 따라 배출가스시험을 수행하였다. ECE구간에서 차량의 평균속도는 19 km/h이며, FTP75 모드와는 다르게 EUDC (Extra Urban Driving Cycle) 모드인 시외주행구간이 포함되어 있고, 이 구간에서 차량의 평균속도는 62.6 km/h이고 최고 속도는 120 km/h까지 도달하는 구간이 포함되어 있다(Lee *et al.*, 2008).

그림 5는 차대동력계상에서 차량의 배출가스 및 연비시험을 수행한 시험장치의 개략도를 나타낸 것이다. 차량의 도로부하를 모사하기 위한 차대동력계는

Table 4. Specification of test vehicles.

Model	NF
Curb. weight (kg)	1,500
Displacement (cm ³)	1,998
Engine family	L4KA
Transmission	A/T 5
Fuel injection sys.	LPLi

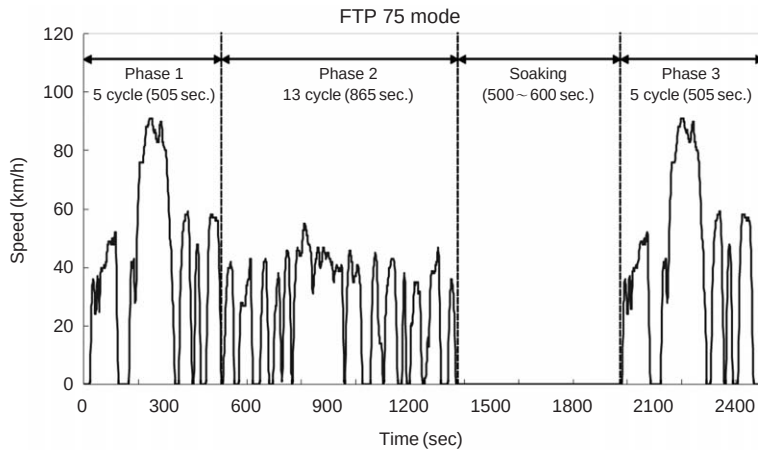


Fig. 3. FTP75 test driving mode.

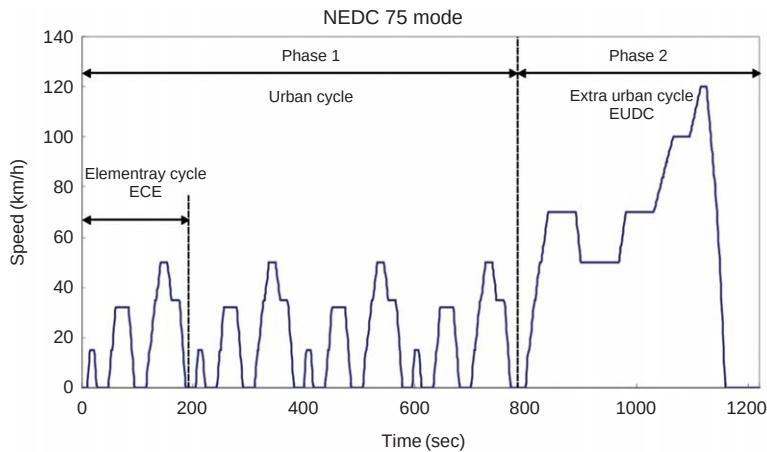


Fig. 4. NEDC test driving mode.

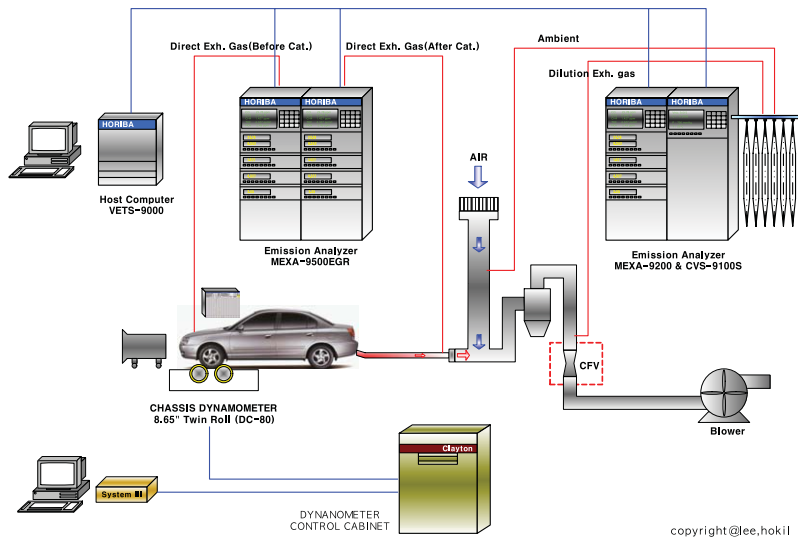


Fig. 5. Schematic diagram of emission measurement equipment.

Clayton사의 DC80, 8.65인치 트윈롤 다이내모메타를 사용하였으며, 배출가스 측정은 HORIBA사(MEXA-9200)의 배출가스 분석계를 사용하였다. 또한 시험차량의 배출가스를 시료채취장치인 임계유량 벤추리형 정용량 시료채취장치(CFV: $9 \text{ m}^3/\text{min}$)를 사용하여 일정량의 공기와 희석시킨 후 시료 채취백에 담았다. 희석된 배출가스 중 CO , CO_2 는 비분산적외선분석기(Nondispersive Infrared Analyzer)로 분석하고, NO_x 는 화학발광분석기(Chemical Luminescence Analyzer)로 분석하였으며, HC 는 불꽃 이온화염 검출기(Flame Ionization Analyzer)를 통하여 분석하여 자동차의 단위 주행거리(km)당 시험오염물질 배출량을 산출하였다(Lee *et al.*, 2008). 또한 기존 황성분이 첨가된 부취제와 새로이 제작된 비황분계 부취제 첨가에 따른 황성분의 배출 특성을 파악하기 위하여 전자분광분석기인 FT-IR을 이용하여 실시간으로 SO_2 의 농도를 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 대상 LPG 연료의 품질평가 결과

그림 6은 대표적으로 비황분계 부취제가 혼합된 LPG 연료의 가스크로마토그래피(GC)에 의한 분석

스펙트럼을 보여주고 있다. 또한 표 5에서는 바탕(base) 겨울용 LPG 연료에 황분계 부취제(EM)와 새로운 비황분계 부취제를 혼합한 LPG 연료의 항목별 품질평가 결과를 보여주고 있다. 비황분계 부취제를 혼합한 모든 LPG 연료의 품질평가 결과, 「액화석유가스의 안전관리 및 사업법」의 액화석유가스 품질기준(K-Petro, 2014)을 모두 만족하였다. 표 5에서 비황분계 부취제 혼합비율에 따라 겨울용 LPG 연료의 조성에는 오차 범위 내로 큰 변화가 없었다. 또한, LPG 연료의 조성 이외 황 함량, 증기압, 밀도, 잔류물질 그리고 동판부식의 5개 항목에도 큰 영향 없이 현행 LPG 연료의 품질기준을 모두 만족하고 있음을 알 수 있다.

특히, 부취제 혼합 전 바탕시료인 LPG 연료의 황 함량은 1.98 mg/kg 이었는데, 황분계 부취제(EM)를 혼합한 LPG 연료의 황함량은 6.89 mg/kg 이었는데 황 성분 포함되지 않은 비황분계 부취제를 혼합한 LPG 연료의 황 함량은 바탕시료의 원래의 황 함량인 1.98 mg/kg 을 그대로 유지하였다. 따라서, 비황분계 부취제를 혼합한 LPG 연료의 품질에 아무런 영향을 주지 않음을 알 수 있다.

3.2 차량 배출가스 평가 결과

비황분계 부취제 첨가 LPG 연료를 사용한 차량 배출가스 실험은 현재 사용 중인 황분계 부취제(EM)

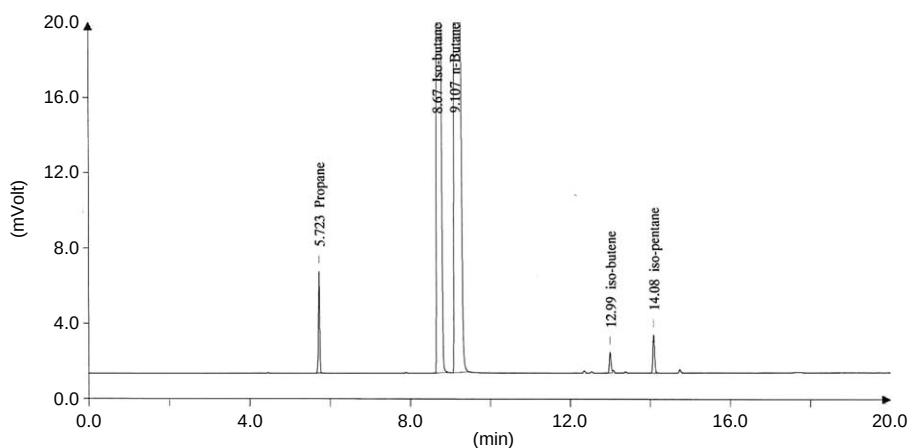


Fig. 6. GC chromatogram of LPG fuel with S-Free odorant.

Table 5. Fuel Properties of winter LPG with sulfur free odorant.

Class item		Standard		LPG fuels	LPG fuel with sulfur free odorant				
		Summer	Winter	Base LPG	Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 4	Sample 5
Composition (mol %)	C3-Hydrocarbon	max. 10	25 ~ 35	29.42	29.50	29.48	29.51	29.55	29.49
	C4-Hydrocarbon	max. 85	min. 60	70.58	70.50	70.52	70.49	70.45	70.51
	Butadiene	max. 0.5		—	—	—	—	—	—
Sulfur content (mg/kg)		max. 40		6.89 ^a	1.98 ^b	1.99 ^b	1.98 ^b	1.97 ^b	1.98 ^b
Vapor pressure (40°C, kPa)		max. 1.27		0.60	0.61	0.62	0.63	0.59	0.61
Density (15°C, kg/m ³)		500 ~ 620		601	603	602	602	604	602
Residue (mL)		max. 0.05		max. 0.05	max. 0.05	max. 0.05	max. 0.05	max. 0.05	max. 0.05
Copper strip corrosion (40°C, 1 h)		max. 1		max. 1	max. 1	max. 1	max. 1	max. 1	max. 1

^aSulfur content after sulfur odorant (EM) addition (sulfur content 1.98 mg/kg before EM addition)^bSulfur content after sulfur free odorant addition in base LPG with no odorant

를 첨가한 conventional LPG 연료와 비교하였다. 즉, LPG용 비황분계 부취제가 기존 황분계 부취제를 대체하기 위해서는 자동차용 LPG 연료에 첨가하여 사용할 때 LPG 차량의 배출가스 영향성을 살펴본 것이다. 황분계 부취제(EM)를 혼합한 겨울용 LPG 연료와 비황분계 부취제를 혼합비율에 따라 겨울용 LPG 연료에 첨가하였고, LPG 차량의 배출가스와 연비를 실험하였다. FTP75 모드와 NEDC 모드에 따른 배출가스와 연비의 실험결과를 표 6과 표 7에 나타내었다.

시험모드에 따라 전체적인 배출가스의 양은 달라지지만, 황분계 부취제를 혼합한 기존연료(conventional)와 비교하여 비황분계 부취제를 첨가한 연료의 경우 THC 배출이 다소 증가하였고, CO와 NOx는 거의 대등한 수준으로 배출되었다. 그림 7과 그림 8에서는

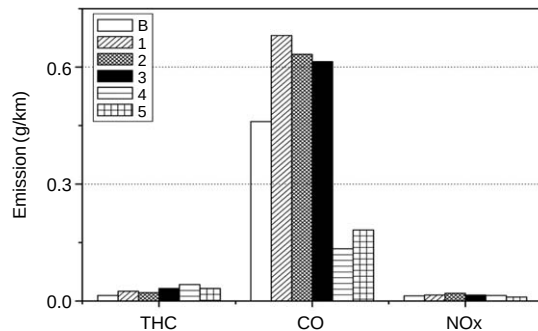
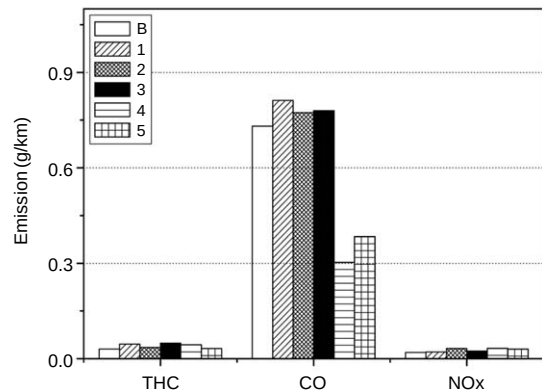
비황분계 부취제 의 부취물질 중 2-Ethyl-3-methyl pyrazine를 혼합하지 않은 시료 4와 시료 5에서는 황분계 부취제 혼합 시료보다 다소 CO가 감소하는 경향을 보이고 있다. 또한 연비의 결정적인 영향을 미치는 CO₂의 경우도 황분계 부취제를 혼합한 기존연료와 비교하여 비황분계 부취제를 혼합한 경우 거의 대등한 수준으로 배출되었다. 따라서 연비는 시험모드와 비황분계 부취제의 혼합비율에 따라 상관성은 보여주지 않고 있으나, 비황분계 부취제를 혼합한 경우 평균 9.30 km/L와 황분계 부취제를 혼합한 기존연료 모두 거의 대등한 수준을 보여 주었다. 비황분계 부취제의 3가지 부취물질에 대한 혼합비율에 따른 배출가스와 연비의 차이는 거의 없었으며, 이에 비황분계 부취제를 혼합한 LPG 연료에 대한 LPG 차량의 배출

Table 6. Vehicle emissions in the FTP75 mode.

	FTP75 mode				
	THC [g/km]	CO [g/km]	NOx [g/km]	CO ₂ portion [g/km]	Fuel Economy [km/L]
Conventional	0.014	0.460	0.013	190.7	9.24
Sample 1	0.025	0.681	0.015	190.2	9.25
Sample 2	0.021	0.633	0.020	191.7	9.18
Sample 3	0.032	0.614	0.015	191.0	9.25
Sample 4	0.042	0.134	0.017	188.5	9.37
Sample 5	0.032	0.182	0.010	186.6	9.46

Table 7. Vehicle emissions in the NEDC mode.

	NEDC mode				
	THC [g/km]	CO [g/km]	NOx [g/km]	CO ₂ portion [g/km]	Fuel Economy [km/L]
Conventional	0.030	0.731	0.020	187.0	9.40
Sample 1	0.046	0.812	0.021	187.8	9.34
Sample 2	0.035	0.774	0.032	193.2	9.09
Sample 3	0.049	0.780	0.024	190.0	9.22
Sample 4	0.044	0.303	0.033	186.4	9.46
Sample 5	0.032	0.384	0.030	188.2	9.37

**Fig. 7. Comparison of Vehicle emissions in the FTP75 mode.****Fig. 8. Comparison of Vehicle emissions in the NEDC mode.**

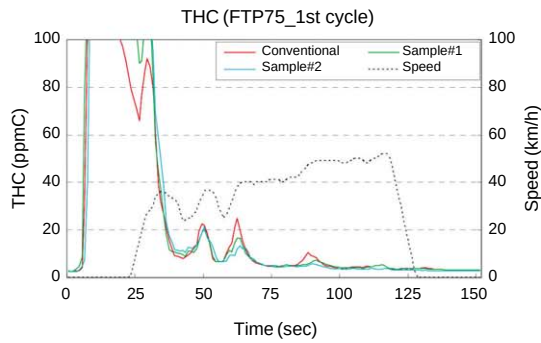
가스와 연비에 영향성은 없는 것으로 판단된다.

따라서 이는 비황분계 부취제가 배출가스와 연비에 영향을 미치지 않는 것을 나타내며, 현재 국내에서 사용되어 유통 중인 황분계 부취제를 대체하여 사용하더라도 LPG 차량에 영향을 주지 않아 상용화 될 수 있는 가능성을 보여주고 있는 결과로 사료된다.

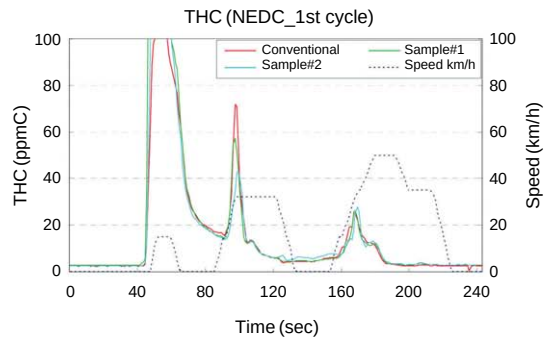
3. 3 시험모드별 초기 냉간 시동 시 배출가스 영향

FTP75모드와 NEDC 모드시험은 예비주행 후 차량

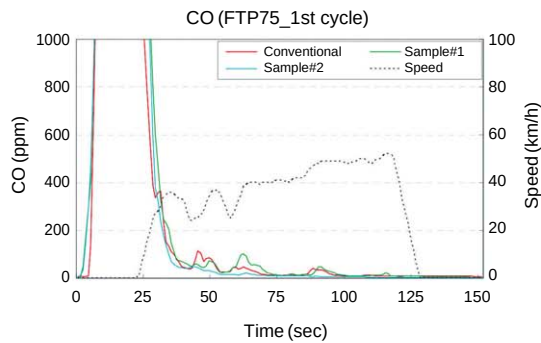
을 25°C가 유지되는 실험실에서 12시간 이상 방치한 후 시험을 수행하고, 시동 후 20초만에 차대동력계상에서 주행을 하게 된다. 이때 차량의 냉간 시동 시와 시동 후 100초 이내 배출되는 배출가스의 양이 저공해, 초저공해자동차를 결정하는 가장 중요한 기간이라고 볼 수 있다. 이러한 차이는 시동 후 엔진과 후처리장치가 워밍업되기 전인 냉간 초기에 배출되는 배출량이 전체배출량을 지배하고 있기 때문이다. 따라서



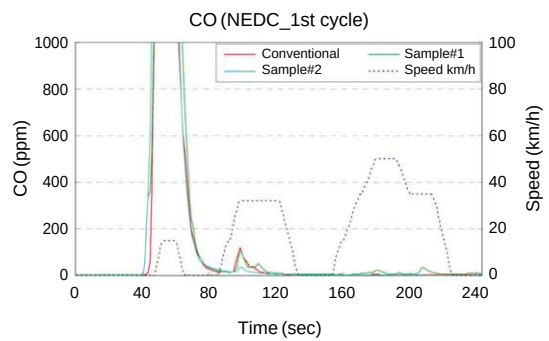
(a) THC emission in FTP75 mode



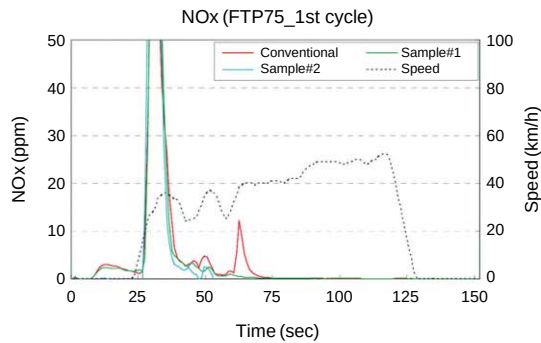
(a) THC emission in FTP75 NEDC mode



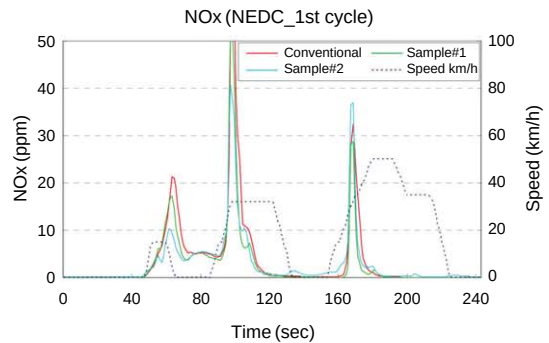
(b) CO emission in FTP75 mode



(b) CO emission in FTP75 NEDC mode



(c) NOx emission in FTP75 mode



(c) NOx emission in FTP75 NEDC mode

Fig. 9. Characteristics of emissions according to additive odorant on cold start in FTP75 mode.

Fig. 10. Characteristics of emissions according to additive odorant on cold start in NEDC mode.

LEV (Low Emission Vehicle) 규제, ULEV (Ultra Low Emission Vehicle) 규제에 대응하기 위하여 자동차에서 배출되는 냉간 초기 배출가스 값은 상당히 달라진다고 볼 수 있다. 따라서 그림 9와 그림 10은 황분계 부취제 (EM)과 대표적으로 비황분계 부취제의 시료 1

과 시료 2에 대해 시험모드별로 따른 초기 냉간 시동 시 배출가스 특성을 살펴보았다. 냉간 상태인 첫 번째 사이클에서 기존연료의 경우, 비황분계 부취제를 첨가한 경우와 비교하여 거의 유사하게 배출되고, 또한 100초 이내에 거의 정상화 되는 것을 알 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 현재 사용되고 있는 황분계 부취제를 대체하여 사용할 수 있고, LPG 연료 중 황 함량을 낮출 수 있는 대안으로 각광받고 있는 비황분계 부취제를 자동차용 LPG 연료에 첨가하여 배출가스에 미치는 영향 특성을 살펴보고, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 비황분계 부취제를 혼합한 모든 LPG 연료의 품질평가 결과, 「액화석유가스의 안전관리 및 사업법」의 현행 자동차용 LPG 품질기준을 모두 만족하였다.

2. 기존 황분계 부취제 혼합 LPG 연료와 비교하여 비황분계 부취제를 혼합한 LPG 연료의 경우 THC, CO, NO_x는 거의 대등한 수준으로 배출가스 경향을 보여 주었다.

3. 연비의 결정적인 영향을 미치는 CO₂의 경우도 황분계 부취제 혼합 LPG 연료와 비교하여 비황분계 부취제를 혼합한 LPG 연료가 거의 대등한 수준으로 배출되었고, 연비도 대등한 수준이었다.

4. 유해 배출가스 전체배출량의 대부분을 차지하는 냉간 초기 배출경향의 경우 황분계 부취제 혼합 LPG 연료와 비교하여 비황분계 부취제를 혼합한 LPG 연료는 거의 대등한 수준으로 배출되는 것을 알 수 있었다. 이는 비황분계 부취제 혼합 LPG 연료가 초기 냉간 시동 시 엔진의 워밍업이나 촉매의 활성화에 거의 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다.

5. 상기의 결과들로부터 비황분계 부취제가 자동차용 LPG 연료에 혼합하여 사용할 때, LPG 차량의 배출가스 및 연비에 영향을 미치지 않는 것을 보여줬다. 이는 기존의 황분계 부취제를 대체하여 LPG 차량에 적용하여 사용할 수 있을 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 산업통상자원부의 “중소형 LPG 상용차 기술개발” 사업의 일환으로 지원되어 수행되었으며, 관계자 여러분께 진심으로 감사드립니다.

References

Arthur, R.K. and V. Arun (1976) Measurement of Odorant

Levels in Natural Gas, Ind. Eng. Chem., Prod. Res. Dev., 15(1), 59-63.

Cui, H., S.Q. Tum, and M.A. Reese (2009) Removal of Sulfur Compounds from Utility Pipelined Synthetic Natural Gas using Modified Activated Carbons, Catalysis Today, 139, 274-279.

De Wild, P.J., R.G. Nyqvist, F.A. De Bruiji, and E.R. Stobbe (2006) Removal of Sulphur-containing Odorants from Fuel Gases for Fuel Cell-based Combined Heat and Power Applications, Journal of Power Sources, 159, 995-1004.

Frank, G., K. Kerstin, and R. Rainer, R (2007) Sulfur-Free Odorization with Gasodor S-Free-a Aevuew of the Accompanying Research and Development Activities, Energy & Fuels, 21, 3322-3333.

Han, S.B., Y. Kim, H.K. Lee, J.H. Kang, and Y.J. Chung (2009) Characteristics Analysis of Exhaust Emission according to Fuels at CVS-75 Mode, Journal of Energy Engineering, 18(1), 69-73.

Imamura, D., M. Akai, and S. Watanabe (2005) Exploration of Hydrogen Odorants for Fuel Cell Vehicles, Journal of Power Sources, 152, 226-232.

KATECH (Korea Automotive Technology Institute) and K-Petro (Korea Petroleum Quality & Distribution Authority) (2009) Study on the LPG Fuel Characteristics of LPG : Devevelopment of Sulfur Free Odorant.

Kim, J.-K., C.K. Park, E.S. Yim, and D.K. Kim (2009) The Compositions of Sulfur Free Odorant, Korea Patent, Patent No.100933493.

Kim, J.-K., E.S. Yim, K.I. Min, and C.-S. Jung (2014a) A Study on the Performance and Exhaust Emissions Characteristics of LPG Engine using LPG Fuel with New Sulfur Free Odorant, Journal of Energy Engineering, 23(3), 88-95. (in Korean with English abstract)

Kim, J.-K., E.S. Yim, and C.-S. Jung (2014b) A Study on the Application of Sulfur-Free Odorant for LPG Fuel, KIGAS, 18(5), 52-59. (in Korean with English abstract)

K-Petro (2014) Fuel quality standard of LPG in Korea, <http://www.kpetro.or.kr/sub.jsp?MenuID=m2as402>.

Lee, H.K., Y. Kim, and J. Ryu (2008) CO₂ Emit and Fuel Economy Characteristics for Propane Mixing Rate of the LPG Vehicle, The Korean Society of Automotive Engineers, 2008 Annual conference, 839-845. (in Korean with English abstract)

Lee, S.H., T.Y. Song, and Y.S. Baek (2001) Optimization of

- Odor Concentration by Operation of Small Station Odorizer, KIGAS, 5(3), 36-44. (in Korean with English abstract)
- Marvin, L.W., W.G. John, O.C. Faye, and W.B. Dennis (1978) Odorant Evaluation : A Study Ethanthiol and Tetrahydrothiophene as Waring agents in Propane, Environmental Science & Technology, 12(12), 1285-1288.
- Park, J., J. Lee, S. Kim, J. Kim, and K. Ahn (2013) A Study on the Emission Characteristics of Korean Light-duty Vehicles in Real-road Driving Conditions, Transactions of KSAE, 21(6), 123-134. (in Korean with English abstract)
- Park, J., J. Lee, S. Kim, J. Kim, D. Kang, Y. Lim, and B. Han (2012) Estimation on the Reduction of SULEV LPG Vehicles, J. KOSAE, 28(1), 68-76. (in Korean with English abstract)
- Ruzsanyi, V., S. Sielemann, and J.I. Baumbach (2007) Detection of sulfur-free odorants in natural gas using ion mobility spectrometry, Journal of Environmental Monitoring, 9, 61-65.
- Thérèse, S. and L. Elena (2008) Overcoming barriers to the implementation of alternative fuels for road transport in Europe, Journal of Cleaner Production, 16, 577-590.