Diesel엔진에서 LPG엔진으로 개조된 차량의 화재위험성 연구

Risk of Fire in Diesel Engine Vehicles Modified to Use LPG

고문수* · 김금재**

Koh, Moonsoo*, and Kim, Keumjae**

Abstract

The government is carrying out a project to convert diesel vehicles that exceed emission standards to low emission liquified petroleum gas (LPG) engines. However, concerns have been raised that fires occur, the engines easily overheat, and high speeds are not possible in the modified vehicles. Therefore, we tested vehicles (gasoline, diesel, LPG, and modified LPG) under idling conditions. We confirmed that the LPG-modified vehicle has a higher exhaust gas temperature than the other vehicles (gasoline, diesel, and LPG) and increased risk of fire. This is because LPG results in a higher combustion chamber temperature compared to those of the other fuels, and there is a problem of inconsistency between the parts because of the boring and modification of the cylinder head of used diesel engines that are required when replacement with a new LPG engine is not carried out. Therefore, rather than retrofitting a diesel engine with an LPG engine or the early disposal of old diesel vehicles, it is appropriate to add an exhaust gas abatement device and keep these vehicles in use.

Key words : LPG Modified Vehicle, Fire, Overheat, Idling Test

요 지

정부에서 배출가스 허용기준을 초과한 특정 경유차에 대하여 저공해 LPG엔진으로 개조하는 사업을 시행하던 중 일부 차량에서 화재가 발생하였고, 엔진이 쉽게 과열되고 고속주행이 되지 않는다는 소비자 불만이 제기되었다. 이에 차량(디젤, LPG개조, 가솔린, LPG) 공회전 실험을 한 바, LPG개조차량이 타 차량(휘발유, 경유, LPG)에 비해 배기장치 온도가 높아, 화재위험성이 높아지는 것으로 확인되었다. 이는 LPG가 다른 연료에 비해 연소실 온도가 높는데, 새 LPG엔진으로 교체하지 않고, 중고 디젤엔진의 실린더헤드만 보링, 개조로 인한 부품간 부조화 문제인 것이다. 이에 디젤엔진을 LPG엔진으로 개조보다는 배출가스 저감장치 부착과 노후 경유 차량 조기폐차 유도 쪽으로 추진하는 것이 적절하다고 본다.

핵심용어 : LPG개조차량, 화재, 엔진과열, 공회전 실험

1. 서 론

1.1 연구의 목적

최근 하루 종일 흐린 하늘에 건강까지 위협하는 미세먼지 때문에 걱정하는 국민이 많다. 미세먼지는 여러 가지 복합한 성분을 가진 대기 중 부유 물질이다. 입자의 크기와 화학적 조성이 건강 영향을 결정한다. 미세먼지의 노출은 호흡기 및 심혈관계 질환의 발생과 관련이 있으며 사망률도 증가시

키는 것으로 보고되고 있다. 특히, 크기가 10마이크로미터 이하의 작은 먼지 입자들은 폐와 혈중으로 유입될 수 있기 때문에 큰 위험이 된다(Seoul National University Hospital Health Column, 2018).

미세먼지는 일상생활에서의 에너지 소비, 자동차운행과 산업활동 등 경제활동으로 인해 발생한다. 수도권의 경우에는 자동차, 전국적으로는 대규모 사업장이 가장 큰 배출원이다. 자동차는 수도권대기오염의 주요원인(66%)이며, 오염물질

*정회원, 명지대학교 재난안전학과 통합과정(E-mail: moonsoo@gg.go.kr)

Member, Disaster Safety Integration Course, Myongji University

**교신저자, 정회원 이천소방서 화재조사관(Tel: +82-31-645-5421, Fax: +82-31-645-5437 E-mail: kyj69119@gg.go.kr)

Corresponding Author, Member, Fire Scene Investigator, Icheon Fire Station

의 약 80%가 경유 차량에서 배출된다(Korean LPG Association). 경유($C_{10}H_{22}$ ~ $C_{21}H_{44}$)에는 탄소수가 10~21개 정도로 많이 포함되어 있기 때문에, 경유($C_{12}H_{26}$)연료 연소 후 발생하는 탄소입자(검댕) 및 탄화수소 찌꺼기 등의 미세먼지가 많이 배출 [휘발유승용차(C_8H_{18})에 비해 km당 40배]될 뿐만 아니라, 일산화탄소도 천연가스보다 많이 배출된다(E2 News, 2016).

이에 수도권대기질을 10년 이내에 OECD 수준으로 끌어올리기 위해 ‘수도권 대기환경 개선에 관한 특별법’을 제정(2003.12.31), 시행(2005.01.01)하여 배출가스 허용기준을 초과한 특정경유차에 대하여 저공해 LPG엔진으로 개조(세계 최초), 교체하거나 배출가스 저감장치(Diesel Particulate Filter)를 부착하도록 규정하였다

시행과정에서 일부 저공해 LPG엔진으로 개조된 차량에서 Fire case가 있었고, 화재 발생 전 엔진이 쉽게 과열되고 출력이 나지 않으며 고속주행이 안 된다는 피해자들의 불만이 제기됨에 따라, 재현실험을 통해 원인을 확인하고, 그 결과를 홍보 및 정책에 반영함으로써 추후 유사한 LPG엔진 개조차량 화재로 인한 인적, 물적 피해를 차단하고자 한다.

1.2 연구의 범위와 방법

‘수도권 대기환경 개선에 관한 특별법’이 시행되면서 이전시는 특정 경유 차량을 저공해 LPG엔진으로 개조하는 사업(보조금 350~390만원: 국가부담 90%, 자부담 10%)을 2004년부터 2015년까지 시행하여 경유 차량 2,721대를 개조하였다(Table 1).

이중 2007년부터 2017년까지 11년 기준으로 이전시 491건의 차량화재 중 디젤엔진차량에서 LPG로 개조된 차량에서 화재가 5건 발생하였으며, 비율은 약 1.01% (5/491)차지하며 원인은 기계적요인 4건, 전기적요인 1건 이다.

참고로 위 기간 동안 경기도 전체 차량화재 14,696건에서, 디젤엔진차량에서 LPG엔진으로 개조된 차량화재는 42건

(약 0.28%)으로 원인은 기계 16건, 전기 12건, 가스누출 6건, 미상 8건이다.

본 연구는 상기 이천화재에서 추론한 기계적요인(4건)과 전기적요인(1건)을 토대로 차량4대(휘발유, 경유, LPG, LPG개조)를 이용하여 ① 공회전에 의한 엔진 및 배기장치 온도측정 ② 오일누유, 냉각장치 고장에 의한 발화가능성 ③ 점화장치 전선 절연열화에 의한 발화가능성 실험을 하고자 한다.

2. 자동차배기가스 규제와 저공해엔진개조

2.1 자동차 현황

국토교통부는 2017년 12월말 현재 우리나라 자동차 누적 등록대수가 2016년보다 725,000대 늘어난 22,528,295대로 집계되었다고 밝혔다. 우리나라 인구 2.3명 당 자동차 1대를 보유하고 있는 셈이다(Table 2).

2.2 자동차 배기가스 문제 및 규제

자동차 연료(탄화수소)가 완전히 연소되면 이산화탄소(탄산가스)와 물이 되지만 연소되지 않으면 일산화탄소와 탄화수소(HC)가 일부 남은 상태로 배출되어 이것이 대기를 오염시킨다.

질소산화물(NO_x)은 원래 화학적으로 안정된 질소가 2,000℃ 이상의 고온에서 산소와 화합하여 생긴 것으로 혼합기가 잘 연소되는 만큼 많이 발생하는 것이다.

엔진의 배기관으로부터 배출되는 가스는 대부분이 공기로 여기에 수증기, 이산화탄소, 일산화탄소, 탄화수소, 질소산화물 등이 함유되어있다.

자동차의 배기가스에 의한 대기오염이 사회문제가 되어 최초로 그 규제가 이루어진 것은 미국 캘리포니아주에서 1963년 블로바이(Blow-by Gas: 연소실의 혼합기 또는 부분

Table 1. Status Changed from Diesel Vehicle to LPG Vehicle

Icheon City (2017)					
Year	Vehicles modified with lpg engine	Year	Vehicles modified with lpg engine	Year	Vehicles modified with lpg engine
2004	2	2008	674	2012	76
2005	20	2009	402	2013	11
2006	571	2010	369	2014	2
2007	475	2011	117	2015	2

Table 2. Automobile Registration by Fuel Type

MOLIT (2017)									
Year	계(%)	Gasoline	Diesel	LPG	Hybrid	CNG	Electric	Hydrogen	Etc
2017	22,528,295 (100%)	10,369,752 (46.3%)	9,576,395 (42.5%)	2,104,675 (9.3%)	313,856 (1.4%)	38,918 (0.2%)	25,108 (0.1%)	170 (0%)	99,421 (0.4%)

적으로 연소된 가스가 피스톤과 실린더 사이의 틈새를 통해 크랭크 케이스로 누설된 것) 가스 규제로, 그 후 1970년에 성립한 머스키 법에 따라 본격적인 규제가 시작되었다 (Sawatari, 2017).

우리나라에서는 자동차배출가스 규제(대기환경보전법)가 1987년 시작되어 매년 추가 및 수정되고 있으며(Clean Air Conservation Act, 2017), OECD 회원국 최하위수준인 국내 수도권 대기질을 10년 이내에 선진국 수준으로 개선하기 위한 ‘수도권 대기환경 개선에 관한 특별법’시행(2005년), 특정 경유차량 배기가스저감장치와 저공해 엔진으로 개조 또는 교체하도록 규정(Special Act on the Improvement of Air Quality in Seoul Metropolitan Area, 2017) 하였으며 위반시 과태료 300만원이 부과된다.

2.3 저공해엔진제작사 현황과 실적

다음 Tables 3, 4와 같이 2017년 9월 기준 국내 저공해엔진 제작사는 7개사이며, 2007년에서 2016년까지 디젤엔진차량 146,770대를 LPG엔진으로 개조하였다.

2.4 저공해(LPG)엔진 개조절차

2.4.1 엔진구조

엔진을 건물로 말하면 3층 건물로 1층은 피스톤의 왕복운동을 회전운동으로 변화시키는 크랭크샤프트가 장착되어 있는 크랭크케이스(Crankcase), 2층은 피스톤이 왕복하는 실린더(원통)를 하나로 모은 실린더 블록(Cylinder Block), 3층은 인간의 머리에 해당하는 실린더 헤드(Cylinder Head)

Fig. 1. Engine of Structure (Sawatari, 2017)

로 구성되어 있다(Sawatari, 2017).

2.4.2 엔진개조절차

- LPG엔진 개조 시 엔진부품 중 크랭크케이스, 실린더 블록을 제외한 3층에 해당하는 실린더헤드, 피스톤, 피스톤링, 커넥팅로드, 흡배기밸브, 점화플러그 등을 교체하며(Figs. 1, 2 참조),
- 이외 베이퍼라이저, 와이어하니스, 에어크리너, 연료필터, 라디에이터, 팬, 펌프 등 수십 가지 부품이 교체된다.
- 보조비용은 이천시 기준 약 350~390만원(국가 90%, 개인 10%)이다.

Table 3. Low Pollution Engine Manufacturer, Certification Conditions, Etc.

KAEA (2017)	
producer (7 companies)	- BLUE PLANET, AXION, ENGINE TECH, WOOJOO C&G, ER INTERNATIONAL, ILJIN COMPOSITE MATERIAL, KOREA&MTECH
Authentication conditions	- Vehicles shipped before December 31, 2005 - KIA J2, JS, J3(CARNIVAL), JT(PREGIO, FRONTIER=>EXPERIMENTAL VEHICLE) - HYUNDAI D4BH(STAREX, LIBERO),D4BB, D4BA(PORTER, STAREX, GRACE), D4BF(GALLOPER,GRACE), 661920(MUSSO)
Restricted Vehicles	- Refrigerated, Tow, Ambulance, Vacuum, Carnival6van

Table 4. Status Changed from Diesel Vehicle to LPG Vehicle (146,770)

Korea Expressway Corporation (2016)					
Year	Vehicles modified with lpg engine	Year	Vehicles modified with lpg engine	Year	Vehicles modified with lpg engine
2007	38,000	2011	8,900	2015	540
2008	42,000	2012	3,400	2016	630
2009	30,000	2013	950		
2010	22,000	2014	350		

※ LPG remodeling business is on a declining trend since 2012

Engine structure (cylinder head)

The injector of the cylinder head

Left injector hole enlarged

Fig. 2. Diesel Engine Before Retrofitting (Taken from Icheon boring company)

Spark plug of cylinder head

Left ignition plug hole enlarged

Replaced Pistons and Connecting Rods

Fig. 3. Engine Modified with LPG (Taken from Icheon boring company)

2.4.3 엔진개조 결과

위 Fig. 2의 기존 디젤엔진 실린더헤드의 인젝터 들어가는 부분(황색사각형)을 넓혀 점화플러그가 들어갈 수 있도록 개조(Fig. 3)하였으며 디젤에 비해 피스톤 길이는 작아지고 커넥팅로드 약간 길어졌다.

- 재산피해: 1,815천원(동산 1,815천원)
- 화재원인: 기계적요인 - 과열/과부하 추정
- 화재개요: 이삿짐 사다리 차량(2009년 LPG차량으로 개조)의 엔진부분에서 불이 난 것으로 관계자 진술과 현장 확인한 바 34℃ 이상의 더운 날씨에서 2~3시간 작업과 운행에 의한 엔진과열로 주변에 흡착된 오일과 전기배선에서 발화하여 순환호스, 플러그 등이 소실된 것으로 추정됨.

3. Fire case

3.1 Fire Case 1 (Fig. 4)

- 일시 및 장소: 2012.8.4. 10:50
- 이천시 증포동 206-3 부근 도로상
- 차량(연식): 2.5톤 화물차(1994년식)
- 원동기형식: D4AF(2009년 인증조건에 포함되었으나 2017년 없음)

3.2 Fire Case 2 (Fig. 5)

- 일 시: 2016.04.01. 17:45경
- 장 소: 이천시 부발읍 아미리 698-5 영동고속도로 인천방향 이천IC부근
- 차량(연식): 1톤 화물차(2001년식)

Left side of ladder vehicle

The engine room and the chair section are burned

Engine room wiring, cooling hose are burned

Fig. 4. 2.5 Ton Ladders Vehicle Fire Status

Rear of 1 ton cargo

Lost engine room part

Engine room electrical wiring loss

Fig. 5. 1 ton Cargo Vehicle Fire Situation

- 원동기형식: JT(2009년, 2017년 인증조건에 포함되어 있음)
- 재산피해: 242천원(동산 242천원)
- 화재원인: 기계적요인 - 과열/과부하 추정
- 화재개요: 주행 중인 차량(2011년 LPG개조) 엔진룸에서 불이 나 엔진룸내 전선과 플라스틱 부품이 소실된 것으로 현장 감식한바 엔진에 전선이 늘어 붙어있고 주변으로 연소진행 패턴이 보이는 것으로 보아 엔진과열에 의해 주변에 있던 전선이 용융되면서 발화된 것으로 추정됨.

3.3 발화지점 특징

- 1) 화재는 엔진룸에서 발화되어 주변으로 연소 확대 된 것으로 엔진주변에 있는 냉각호스와 전기배선 등이 소실됨
- 2) 쉽게 엔진 과열되고 출력이 나오지 않았으며, 엔진부조가 심하고 엔진 떨림 현상 발생 및 점화계통 누전된다는 피해자 진술 확보함.

4. 화재재현실험

상기 화재에서 추론한 화재원인(엔진과열)과 피해자들의 불만을 토대로 ① 차량 엔진공회전에 의한 엔진, 배기장치 온도측정 ② 오일누유, 냉각장치 고장에 의한 발화가능성 ③ 점화장치 배선 절연열화에 의한 발화가능성 실험을 차량 4대(휘발유, 경유, LPG, LPG개조차량)를 활용하여 다음과

같이 진행하였다.

4.1 실험개요

- 기 간: 2018.1.18. 10:00~16:30
- 날 짜: 맑음
- 온도(습도): 7℃ (58%)
- 장 소: 방재시험연구원(여주시 가남읍 경충대로 1030) 종합화재시험동
- 차량(대): 휘발유, 경유, LPG, LPG엔진개조차량(4대)
- 측정장비: 데이터로거, 디지털온도습도계, 디지털온도계

4.2 재현실험

4.2.1 차량 엔진공회전에 의한 엔진 및 배기장치 온도측정

- 실험방법:
 - 흡기장치, 실린더헤드, 배기매니폴드의 볼트에 온도센서 선을 감고, 촉매컨버터, 머플러 표면에 온도센서를 테이프로 붙여 온도를 측정한다.
 - 냉각수 적정온도(약 95℃) 1,000 RPM부터 1분 단위로 4,000RPM까지 공회전하며 엔진(흡기장치, 실린더헤드) 및 배기장치(배기매니폴드, 촉매컨버터, 머플러) 온도변화를 측정하였다.

- ① 경유 차량(2008년식) 엔진공회전 온도측정 (Fig. 6, Tables 5 and 6)

Diesel Vehicles (2008)

Installation of data logger temperature sensor around engine

Installed temperature sensor wire to catalytic converter and muffler

Fig. 6. Diesel Vehicle Engine and Exhaust Temperature Measurement

Table 5. Status of Diesel Vehicle Temperature Change

Number	Time	RPM	Temperature (°C)				
			Intake device	Cylinder head	Exhaust manifold	Catalytic converter	Muffler
1	11:20	1,000	30.8	57.4	98.7	33.1	90.4
2	11:21	1,500	28	60.6	100	34.5	94
3	11:22	2,000	33.9	64.8	105.2	39.3	108.1
4	11:23	2,500	44.3	70.1	117.3	42.6	117.6
5	11:24	3,000	50.1	74.6	128.6	46.6	136
6	11:25	3,500	50.2	77.6	138.2	46.1	95.3
7	11:26	4,000	46.3	81.6	153.7	64.2	80.6

Table 6. Status of Diesel Idling

		Division	Maximum	Minimum
①	Exhaust manifold	153.7°C	98.7°C
	②	Muffler	136°C	80.6°C
	③	Cylinder head	81.6°C	57.4°C
	④	Catalytic converter	64.2°C	33.1°C
	⑤	Intake device	50.2°C	28°C

② LPG 차량(2005년식) 엔진공회전 온도측정
(Fig. 7, Tables 7 and 8)

LPG vehicles (2005 model year)

LPG container in vehicle trunk

Installation of data logger temperature sensor around engine

Fig. 7. LPG Vehicle Engine and Exhaust Temperature Measurement**Table 7.** Status of LPG Vehicle Temperature Change

Number	Time	RPM	Temperature (°C)				
			Intake device	Exhaust manifold	Cylinder head	Muffler	Catalytic converter
1	12:28	1,000	30.4	93.6	56.6	39.5	52.7
2	12:29	1,500	32.1	95.8	65.4	39.6	61.7
3	12:30	2,000	33.5	103	67.8	44.3	66.9
4	12:31	2,500	41.2	117	70.7	45.8	73.8
5	12:32	3,000	45.8	130.7	75.9	80.3	89.5
6	12:33	3,500	49.8	147	80.6	134.2	111
7	12:34	4,000	53.4	161.2	86.5	32.4	141.7

Table 8. LPG차량 공회전 결과 현황

③ 휘발유 차량(2004년식) 엔진공회전 온도측정
(Fig. 8, Tables 9 and 10)

gasoline Vehicles
(2004 model year)

Installation of data logger temperature
sensor around engine

Measuring exhaust manifold temperature
with digital thermometer (412°C)

Fig. 8. Gasoline Vehicle Engine and Exhaust Device Temperature Measurement

Table 9. Status of Gasoline Vehicle Temperature Change

Number	Time	RPM	Temperature (°C)				
			Intake device	Exhaust manifold	Cylinder head	Muffler	Catalytic converter
1	13:02	1,000	28.8	113.9	67.3	6.6	38.7
2	13:03	1,500	28.8	120.6	72.9	16.9	55.5
3	13:04	2,000	29.4	133.2	78.6	29.8	73.4
4	13:05	2,500	29.7	148.7	84.6	36	89
5	13:06	3,000	30.3	159.6	89.7	40.1	100.7
6	13:07	3,500	30.7	169.1	94.6	44.6	112.5
7	13:08	4,000	32.1	176	98.6	48.6	115

Table 10. Status of Idling of Gasoline Car

④ LPG엔진개조 차량(2002년식, 2009년 개조) 엔진공회
전 온도측정(Fig. 9, Tables 11 and 12)

Fig. 9. LPG Modified Vehicle Engine and Exhaust Temperature Measurement

Table 11. LPG Engine Modified Vehicle Temperature Change Status

Number	Time	RPM	Temperature (°C)				
			Intake device	Exhaust manifold	Cylinder head	Muffler	Catalytic converter
1	14:28	1,000	55.5	277.7	75.1	213	148
2	14:29	1,500	60.6	286.5	82.7	226.7	163.2
3	14:30	2,000	63.9	310.8	89.3	268.7	180.8
4	14:31	2,500	67.2	344.9	97.3	303.7	196.9
5	14:32	3,000	70.7	376.9	104.3	347.9	149
6	14:33	3,500	73.6	410.5	109.8	400	157
7	14:34	4,000	80.3	439.9	121	453	200

Table 12. Status of Idling of LPG Engine Modified Vehicle

Division	Maximum	Minimum
① Exhaust manifold	439.9°C	277.7°C
② Muffler	453°C	213°C
③ Catalytic converter	200°C	148°C
④ Cylinder head	121	75.1
⑤ Intake device	80.3	55.5

⑤ 실험결과(Table 13)

- 휘발유차량, LPG개조차량의 데이터로거 온도와 디지털 온도계 온도 차이(약1.1~2.4배)는 온도측정 부위(데이터로거는 기기볼트, 디지털온도계는 기기표면)가 달라 발생한 것으로 추정되며,
- 실험차량 모두 배기매니폴드 온도가 가장 높고 흡기장치 가장 낮았으며, 배기매니폴드 최고온도를 기준으로 각 차량 비교하면, LPG개조차량(439.9°C), 휘발유차량(169.1°C), LPG차량(161.2°C), 경유차량(153.7°C) 순이며,
- LPG개조차량과 LPG차량의 온도차는 2.7배로 LPG개조

차량이 훨씬 높다. 이는LPG(기상분사)가 다른 연료(액상분사)에 비해 연소실 온도(2,300°C 이상)가 높는데, 새 엔진으로 교체하지 않고 중고(차령 5년에서 10년 이상) 디젤엔진을 실린더헤드만 보링하여 LPG로 개조하는 구조적 문제일 가능성이 크다.

4.2.2 LPG엔진개조차량 오일누유, 냉각장치 고장에 의한 발화가능성

- ① LPG엔진개조차량 오일누유에 의한 발화가능성 (Fig. 10, Table 14)

Table 13. Diesel, LPG, Gasoline, LPG Engine Modified Vehicle Engine Idling Experiment Results

vehicle	Experimental results (high temperature order)
Diesel car	Exhaust manifold 153.7℃ > Muffler 136℃ > Cylinder head 81.6℃ > Catalytic converter 64.2℃ > Intake device 50.2℃
LPG car	Exhaust manifold 161.2℃ > Catalytic converter 147.7℃ > Cylinder head 86.5℃ > Muffler 134.2℃ > Intake device 53.4℃
Gasoline car	Exhaust manifold 176℃ > Catalytic converter 115℃ > Cylinder head 98.6℃ > Muffler 48.6℃ > Intake device 32.1℃
LPG engine modified car	Exhaust manifold 439.9℃ > Muffler 453℃ > Catalytic converter 200℃ > Cylinder head 121℃ > Intake device 80.3℃

signs of leakage around the experimental vehicle cylinder head

Add to engine oil on exhaust manifold (approx. 30 ml)

The engine only produces smoke and does not ignite

Fig. 10. LPG Modified Vehicle Idle After Engine Oil Leak

Table 14. LPG Modified Vehicle Oil Leak Idling Results

	Division	Maximum	Minimum
	① Exhaust manifold	441℃	264℃
	② Cylinder head	127℃	99.8℃
	③ Intake device	107℃	75.7℃

- 실험방법:
- 엔진오일 누유를 가정하여 배기매니폴드에 엔진오일 약 30 ml 부었다.
- 3,000부터 4,000, 4,500 RPM까지 단계적으로 2분간 공회전하여 엔진주변기기(흡기장치, 실린더헤드, 배기매니폴드) 온도변화 및 발화가능성 실험 하였다.

② LPG개조차량 냉각장치 고장에 의한 발화가능성 (Fig. 11, Table 15)

- 실험방법:
- 냉각팬 고장을 가정하여 배기매니폴드에 엔진오일 약 30 ml 부었다.
- 3,000 RPM 4분간 공회전하여 엔진주변기기(흡기장치,

실린더헤드, 배기매니폴드) 온도변화 및 발화가능성 실험 하였다.

③ 실험결과

- 배기다기관에 엔진오일 약 30 ml 붓고 약 6분간 실시하였으나 불은 나지 않고 연기만 발생했으며, 냉각팬 고의로 고장시켜 가동한바 연기와 함께 잠시 후 불이 나기 시작함.
- 차량엔진이 과열되었더라도 냉각장치(냉각팬, 냉각수)가 정상 작동되면 불이 날 가능성은 낮아지지만, 무더운 여름 정차하여 작업(이삿짐 운반하는 사다리차)하는 차량에서 냉각팬 고장, 냉각수 부족 시에는 발화가능성이 높은 것으로 판단된다(Fire case 1 참조).

Engine idling

Smoke from engine

Ignition in exhaust manifold

Fig. 11. LPG Modified Vehicle Idling by Cooling Fan Failure

Table 15. Status of Idling Due to Failure of LPG Modified Vehicle Cooling System

	Division	Maximum	Minimum
	① Exhaust manifold	434℃	387℃
	② Cylinder head	165℃	158℃
	③ Intake device	112℃	108℃

4.2.3 LPG개조차량 점화장치 전선 절연열화에 의한 발화가능성

○ 실험방법:

- 전기소모와 엔진열에 의한 경년열화를 가정하여 점화 플러그와 배전기 전선을 칼로 절개하여 발화 가능성 실험하였다.

① LPG개조차량 점화플러그 배선 절연열화에 의한 발화 가능성(Fig. 12)

② LPG개조차량 배전기 배선 절연열화에 의한 발화가능성(Fig. 13)

Spark plug

Spark plug wiring incision

Spark occurs in spark plug wiring

Fig. 12. LPG Modified Vehicle Ignition Plug Wiring Ignition Experiment

power distributor

Distributor wire incision

Spark on the distributor wire

Fig. 13. Experiment of Wiring Ignition of LPG Modified Vehicle Distributor

③ 실험결과

- 디젤에서 LPG로 개조하면 디젤보다 전기장치가 많기 때문에 전기소모가 크고, 차량 공회전실험에서 알 수 있듯이 개조차량 특성(일부 부품만 교체로 인한 부조)상 엔진과열로 열이 많이 발생한다.
- 그 중 전선이 열에 가장 취약하다. 항공기와 달리 자동차 전선은 고온을 견디지 못하고 피복이 녹는다.
- 점화장치(점화플러그, 배전기) 전선이 절연열화로 피복이 손상에 의한 시동 및 운행 시 스파크로 주변 오일, 먼지 등에서 발화될 가능성이 높은 것으로 판단된다.

5. 결 론

Fire case에서 추론한 화재원인(엔진과열)과 피해자들의 불만을 토대로 ① 차량 엔진공회전에 의한 엔진, 배기장치 온도측정 ② 오일누유, 냉각장치 고장에 의한 발화가능성 ③ 점화장치 배선 절연열화에 의한 발화가능성 실험을 차량 4대(휘발유, 경유, LPG, LPG개조차량)를 활용하여 재연실험 결과는 다음과 같다.

- ① 차량 엔진공회전에 의한 엔진, 배기장치 온도측정
 - 실험차량 모두 배기매니폴드 온도가 가장 높고 흡기장치가 가장 낮았으며, LPG개조차량과 LPG차량의 온도차는 2.7배로 LPG개조차량이 훨씬 높다. 이는 LPG(기상분사)가 다른 연료(액상분사)에 비해 연소실 온도(2,300℃ 이상)가 높은데,
 - 새 천 조각을 헌옷에 대고 꾀매면 그 옷이 땅겨 더 심하게 찢어지듯이, 새 엔진으로 교체하지 않고 중고(차령 5년 ~ 10년 이상) 경유차 엔진의 실린더헤드만 보링, 개조로 인해 부품간의 부조화가 발생하였을 가능성이 크다.
- ② 오일누유, 냉각장치 고장에 의한 발화가능성
 - 배기다기관에 엔진오일 약 30 ml 붓고 약 6분간 실시하였으나 불은 나지 않고 연기만 발생했으며, 냉각팬 고의로 고장시켜 가동한바 연기와 함께 잠시 후 불이 나기 시작함.

- 차량엔진이 과열되었다고 냉각장치(냉각팬, 냉각수)가 정상 작동되면 불이 날 가능성은 떨어지지만, 무더운 여름 정차하여 작업(이삿짐 운반하는 사다리차)하는 차량에서 냉각팬고장, 냉각수 부족 시에는 발화가능성이 높은 것으로 판단된다(Fire Case 1 참조).

③ 점화장치 배선 절연열화에 의한 발화가능성

- 디젤에서 LPG로 개조하면 디젤보다 전기장치가 많기 때문에 전기소모가 크고, 차량 공회전실험에서 알 수 있듯이 개조차량 특성(일부 부품만 교체로 인한 부조)상 엔진과열로 열이 많이 발생한다.
- 그 중 전선이 열에 가장 취약하다. 항공기와 달리 자동차 전선은 고온을 견디지 못하고 피복이 녹는다.
- 점화장치(점화플러그, 배전기) 전선이 절연열화로 피복이 손상에 의한 시동 및 운행 시 스파크로 주변 오일, 먼지 등에서 발화될 가능성이 높은 것으로 판단된다.

상기 3개 항목의 재현 실험 결과를 통해 LPG개조차량이 타 차량(휘발유, 경유, LPG)에 비해 엔진 및 배기장치 온도(LPG차량과 비교해 2.7배)가 높아, 차량부품 중 냉각장치 고장 또는 엔진과열에 의한 전선 절연열화 시, 화재위험성은 높아지는 것을 확인했다.

이는 LPG(기상분사)가 다른 연료(액상분사, 약 2,000℃)에 비해 연소실 온도(약 2,300℃ 이상)가 높은데, 새 LPG엔진(lpg에 최적화)으로 교체하지 않고, 중고 디젤엔진(경유에 최적화)의 실린더헤드만 보링, 개조로 인한 기계적, 전기적 문제인 것으로 판단된다.

5.1 정책제언(활용)

5.1.1 LPG엔진개조추진계획 폐지

서울에서 실시한 대중교통 무료운행 대신 경기도는 대기 오염에 상당한 원인을 제공하고 있는 경유버스(4,000여대)를 모두 폐차하고, 2027년까지 이를 모두 친환경 전기버스로 교체한다는 방침이다. 또 2005년식 이하 화물차 5만1,000여대를 조기폐차하고, 매연저감장치 설치·LPG엔진개조 등을 추진할 계획(News1 News, 2018)인데, LPG엔진개조는 모든

Table 16. Article 25 (4) of the Special Act on the Improvement of Air Quality in the Seoul Metropolitan Area

Existing law	The law to be amended
Article 25 (Management of specific Diesel cars) ④ The owner of a diesel vehicle shall attach an exhaust gas abatement device or convert or replace it with a low emission engine as specified by the Ordinance of the Ministry of Environment so that the emission gas emitted from the vehicle is maintained in accordance with the emission limit of the specific diesel vehicle set forth in paragraph 1.	Article 25 (Management of specific Diesel cars) ④ The owner of a diesel vehicle shall attach an exhaust gas abatement device as specified by the Ordinance of the Ministry of Environment so that the emission gas emitted from the vehicle is maintained in accordance with the emission limit of the specific diesel vehicle set forth in paragraph 1.

디젤엔진이 아닌 일부 차량 즉 한국자동차환경협회(KAEA, 2017)에서 배포된 인증조건의 일부 엔진만 허용된다는 사실과 개조된 엔진이 쉽게 과열되고, 불이 날 가능성이 높다는 것을 감안할 때, LPG엔진개조 계획을 배제하고, 배출가스저감장치 부착과 디젤차량 조기폐차 유도 쪽으로 추진하는 것이 적절하다고 본다.

5.1.2 [수도권 대기환경개선에 관한 특별법] 제25조 일부 조항 개정

디젤에서 LPG로 개조한 소비자 80%이상이 LPG로 개조한 것에 대해 후회하고 불만을 제기하고 있으며, 이 여파로 2012년 이후 LPG개조실적이 감소하는 것으로 보아 유명무실했던 [수도권 대기환경개선에 관한 특별법] 제25조(특정 경유자동차의 관리) 규정 제4항 일부를 다음과 같이 개정(삭제)할 필요가 있다(Table 16).

감사의 글

본 연구 실험 장소인 종합화재시험동을 빌려주고 여러 장비를 지원하여 주신 방재시험연구원 직원 여러분께 감사드립니다.

References

Sawatari, S. (2017). *The engine is like this*. Golden Bell, Inc. pp. 32-90.
Korea Automobile Environment Association (KAEA).

(2017). Retrieved from <http://www.aea.or.kr>
Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT). (2017). Retrieved from <http://www.molit.go.kr>
E2 News. (2016). *Fine dust, compressed natural gas bus vs diesel bus truth argument* (July 6, 2016). Retrieved from <http://www.e2news.com/news/articleView.htm?idxno=94324>
Korean LPG Association. Retrieved from <http://www.klpg.or.kr>
Clean Air Conservation Act (2017).
Special Act on the Improvement of Air Quality in Seoul Metropolitan Area, Article 25 (2017).
News1 News. (2018). *Seoul Metropolitan City reduction of fine dust free public transportation is ineffective*. (January 15, 2018). Retrieved from <http://news1.kr/articles/?3206971>
Seoul National University Hospital Health Column. (2018). *What is the risk of fine dust and how to prevent it?* (January 25, 2018). Retrieved from <https://terms.naver.com/entry.nhn?cid=63166&docId=2108289&categoryId=51020>

Received	■ August 21, 2018
Revised	■ October 27, 2018
Accepted	■ November 27, 2018