



자동차 연료호스, 인젝터 및 압력조절기 연결부에서 LP 가스 누출에 의한 화재사례 고찰

†이일권 · 국창호 · 서문원 · 정동화*

대림대학교 자동차공학과, *순천제일대학교 자동차기계과
(2013년 4월 18일 투고, 2013년 6월 25일 수정, 2013년 6월 25일 채택)

Study for Fire Examples of LPG Leakage Including Fuel hose, Injector and Pressure Regulator Connector in Vehicle

† Il Kwon Lee · Chang Hoo Kook · Moon Won Suh · Dong Hwa Jung*

Department of Automotive Engineering, Daelim University College

**Department of Automotive and machinery, Suncheon first College*

(Received April 18, 2013; Revised June 25, 2013; Accepted June 25, 2013)

요약

이 논문의 목적은 LPG 자동차에서 연료누설에 의한 화재관련 사례에 대하여 연구하는 것이다. 첫 번째 사례는, 엔진의 연료 레귤레이터 및 인젝터 사이의 고압호스와 연결되는 연료 라인을 수리한 다음 고정하는 볼트를 규정 토크로 조이지 않아 호스가 빠지면서 LP 가스가 누출되어 엔진의 열에 의해 화재가 발생한 것을 확인하였다. 두 번째 사례는, 인젝터를 교환한 다음 흡기매니폴드 유닛의 조립부에 삽입할 때 고정하는 고정부를 점검하지 않고 고정부가 변형되어 흰 상태에서 조립한 결과 연료의 누설을 방지하는 O링이 찢어져 이 사이로 연료가 누출된 것으로 확인되었다. 세 번째 사례는, 연료압력 조절기 유닛에는 연료 차단 솔레노이드 밸브가 연결되어 있는데 수리 후 이 연결 커넥터의 기밀작업을 철저히 하지 않아서 미세하게 LP 가스가 누설되다가 어느 순간에 많은 양의 가스가 누설되면서 엔진의 열에 의해 화재가 발생된 것을 확인하였다. 따라서, 연료 시스템에 문제가 없는지 철저히 관리하여 화재의 발생이 최소가 되도록 하여야 한다.

Abstract - The purpose of this paper is to study for fire example by fuel leakage in LPG Vehicle. At first example, the car was repaired the fuel line that was connected with pressure hose between fuel regulator and injector in engine. But the service man was not very tighten with regular torque. At a result, the gas leaked on hot parts of engine. It verified the production of fire by engine heat. At second example, when the repair man, after replacement the injector, inserted the injector in a assembling part of it, he didn't the transform condition of fixing part. Therefore, the tearing phenomenon of O ring producted the controlled leakage of fuel by the injector deflection. It found the fact that the fuel leaked with gap of O ring. At third example. the fuel-cut solenoid valve was lined with pressure regulator unit. But the service man didn't throughly certify the leaked work of connected parts after repaired it. As a result, it certified the fire by engine heating leaked liquefied petroleum gas. Therefore it have to minimize the fire production that the driver should do no problem to throughly manage the fuel system.

Key words : liquified petroleum gas, leakage, fuel line, injector, fuel pressure regulator, fire

†Corresponding author: iklee@daelim.ac.kr

Copyright © 2013 by The Korean Institute of Gas

I. 서론

최근 자동차는 자동차 엔진, 새시 및 전기시스템에 적용되는 편리하고 다양한 시스템이 적용된 반면에 복잡한 기계·전기·전자적인 시스템의 적용에 의해 자동차는 화재에 대한 위험성은 더욱 커졌다고 할 수 있다. 즉, 자동차 엔진부에서 화재가 발생되면 연료시스템 엔진 내부의 엔진커버, 헤드 커버 및 경량화를 위한 플라스틱부와 엔진의 각 제어부에 전기를 공급하는 엔진 와이어링(wiring) 배선부분에 의해 화재원이 확산되기 때문에 화재의 위험성 또한 높아졌다 할 수 있다. 따라서, 엔진룸(engine room)은 항상 뜨거운 열과 접촉하므로 화재에 잘 견딜 수 있도록 부품들의 내구성을 확보해야 한다[1]. 자동차 화재 발생시 자동차 및 각종 생활에 적용되는 플라스틱의 가연성에 대한 연구도 활발하게 진행되고 있다[2].

이러한 화재가 발생하였을 때 화재의 발생 원인의 불확실성 때문에 제조물 책임사례(production liability case)에 관련된 연구논문도 발표되었다[3]. 자동차 화재에 대한 원인의 규명은 법의학, 화학, 공학 등의 다양한 분야의 관련자들이 참여하여 원인을 규명하는 것이 필요하다[4]. 이러한 화재방지에 대비하여 자동차 제작사에서는 자동차를 운전중이나 정차된 상태에서 자동차 엔진부에서 화재가 발생하였을 때는 즉시 안전한 장소에 정차하여 엔진을 정지시킨 다음 자동차내부에 비치하고 있는 소화기 등을 이용하여 진화할 것을 자동차 취급설명에서 내용을 편수하여 추천하고 있다[5-7]. 그러나 자동차 화재가 발생되면 발화물에 의해서 순식간에 타버리기 때문에 화재를 진화하기 어려울 뿐 만 아니라 화재의 원인을 찾기는 더욱 어렵다. 또한, 자동차 화재를 감소시키기 위해 자동차 화재에 대한 인식을 확대하고 위험에 대처할 수 있도록 컴퓨터를 이용한 원격 교육과 세미나를 통해 중요성을 부각시키고 있다[8]. 따라서, 화재의 원인을 찾아 분석하고 이를 정확하게 규명해야만 이후에 발생하는 사고를 미연에 방지할 수 있다. 자동차 연료시스템에서 연료가 흐를 때 연료시스템에서 연료가 누설이 되거나 연소를 할 때 역화나 후화 및 불완전 연소 등이 발생할 수 있다[9,10]. 또한, 자동차를 정비한 다음 연결부분의 고정부를 완전하게 체결하지 않으면 시간이 경과하면, 이것이 조금씩 풀리면서 연료의 누설이 발생되어 화재로 연결될 수 있다는 연구 사례도 발표되었다[11].

따라서, 이 논문은 자동차에서 발생하는 화재와 관련된 고장사례의 원인을 추정하고 이를 분석하여 이에 대한 개선 및 연구방향을 제시하고자 한다.

II. 이론적 배경

2.1. 연소의 정의

연소(combustion)란 일반적으로 산화(oxidation) 등의 반응에 의해 열과 빛을 발하는 현상이라 하며, 일반적으로 공기나 산소가운데 물질이 산화되어 열을 발생하는 현상을 말한다. 따라서, 연소가 가능한 물질들이 타거나 하는 것이라 할 수 있으며, 자동차 엔진분야에서는 석유(petroleum)에서 정제한 휘발유, 경유 및 LPG 가스 등을 예로 들 수 있다.

2.2. 연소의 형태

가연성물질(combustible material)이 기체(gas) 상태로 그 자체가 공기(air)중에 급속하게 확산하기 쉽고 폭발 범위내에서 화재를 일으킬 수 있는 불꽃(flame)이 있으면 쉽게 불이 붙는다. 가연성 가스의 연소에는 정상연소와 비정상연소의 두 가지 형태가 있으며, 가스기구 등에 의한 연소를 정상연소라 하고, 공기중에 가연성 가스를 확산시키면서 안정한 불꽃으로 연소를 계속하여 불꽃의 크기의 조정도 가능하다. 한편, 공기중에 체류하는 가연성가스가 폭발적으로 연소하는 것을 비정상연소라 하며, 화재 폭발 등의 위험성이 크다. Fig. 1은 자동차 엔진 내부에서의 연소형태의 사례를 보여주는 것이다.

2.3. 자동차 엔진의 화재 진단

2.3.1. 화재 진단의 목적

자동차는 연소열에 의해 움직이는 자동차 엔진은 이 열이 엔진의 연료시스템과 윤활시스템 및 냉각 시스템을 통해 이동하게 된다. 이러한 열이 연결된 연료



Fig. 1. Firing example in vehicle combustion chamber.



Fig. 2. Fully blazing example by vehicle fire.

시스템의 연료와 혼합하거나 연결된 곳에서 분리되어 열이 유출됨으로써 가연성 물질과 혼합하게 되면 불이 붙어 화재가 발생할 수 있다. 따라서, 이러한 자동차 엔진부에서 발생하는 자동차 화재를 조사하여 진단하기 위한 것이다.

2.3.2. 자동차 엔진의 화재 진단방법

자동차 화재는 화재로 인해 일부 소실되었거나 완전히 소실되었기 때문에 결과를 가지고 분석을 통해 화재의 원인을 찾아야 하기 때문에 매우 어려운 진단이라고 할 수 있다. 자동차 화재로 인해 탄 자동차의 사례가 Fig. 2에 나타나 있다.

Ⅲ. 자동차 연료시스템과 관련된 화재 사례

3.1. 연료라인 호스이탈로 인한 사례

1) 현상

자동차를 수리한 다음 자동차의 시동을 건 상태에서 5분 정도 경과된 다음 자동차의 엔진룸에서 화재가 발생되었다.

2) 분석

운전자가 자동차의 실내 청소를 하다 잠깐 자리를 비운 사이 자동차가 '퐁' 소리를 내면서 엔진룸에서 연기가 나기 시작하였다. 엔진룸을 확인한 결과, 연료탱크 및 인젝터와 연결되는 연료 레일과 연결되는 액화석유가스 호스가 빠져 있었다. 또한, 연료 호스를 고정하는 브래킷과 이를 고정하는 볼트와 너트의 부품이 이탈된 것을 확인하였다. 주위를 확인한 결과, 연료 호스를 고정하는 브래킷은 배기축의 머플



Fig. 3. LP gas connecting hose of normal state.



Fig. 4. LP gas connecting hose by fixing bracket.

러 하단에서 찾을 수 있었고, 이를 고정하는 볼트와 너트는 호스가 빠질 때 LP 가스의 압력에 의해 분리되어 어디론가 분산되어 찾을 수가 없었다. 이 사례의 화재 원인은 조사하여 본 결과, 엔진의 연료 레일레이터 및 인젝터 사이의 고압호스와 연결되는 연료라인을 정비한 다음 고정하는 볼트를 규정 토크로 조이지 않아 조임 토크 불량에 의해 시간이 경과함에 따라 볼트 및 너트가 분리되어 호스 고정용 브래킷이 이탈되어 이로 인해 호스가 빠지면서 LP 가스가 누출되어 엔진의 열에 의해 화재가 발생한 것으로 확인되었다. Fig. 3은 정상적인 상태의 연결사례를 보여주는 것이다. Fig. 4는 볼트와 너트 및 브래킷이 이탈되어 호스가 분리되어 화재가 발생된 사례

를 보여주고 있다.

3) 고찰

볼트와 너트를 조일 때에는 철저히 규정 조임 토크로 조여야 한다. 특히 폭발성이 우려되는 가스관을 연결하는 부위는 세심하게 작업을 하여야 한다. 만약 그렇지 않을 경우 사고로 연결될 수 있고 이것이 대형 인명의 사고로 확대될 수 있다. 또한, 연료라인의 피복 상태를 점검하여 연료라인의 찢어짐도 확인해야 한다. 그리고 연료 튜브에 커넥터(connector)를 조립할 때는 조립하는 부위에 헤르메 시일(herme seal)을 도포해 누설이 없도록 해야 할 것으로 판단된다.

3.2. 인젝터내부 O링 이탈로 인한 사례

1) 현상

차량의 시동을 걸고 몇 분이 지났을 때 차량의 엔진룸에서 연기가 나기 시작하면서 화재가 발생하였다.

2) 분석

화재가 발생하여 차량의 엔진 실린더 헤드 상부가 모두 타서 원인을 정확하게 확인하기가 어려웠다. Fig.5는 엔진룸 내부의 화재로 인해 플라스틱 부위와 전기배선은 모두 화재로 인해 소실된 것을 확인할 수 있다. Fig.6은 정상적인 상태의 인젝터 장착 상태를 보여주는 것이다.

일반적으로 LPI(liquefied petroleum injection) 인젝터는 흡기매니폴드 상단에 설치되어 있으며, 연료펌프에서 공급한 액상 LPG 연료를 컴퓨터의 신호를 받아 적절한 시기에 흡기매니폴드에 분사하는 역할을 한다. LPI 인젝터와 전자제어 가솔린 인젝터의 차이점은 전자제어 가솔린 인젝터의 경우 연료의 공급이 인젝터 상부에서 하부로 연료가 공급되는 데 비해, LPI 인젝터의 경우는 인젝터 내부의 빙결(Icing) 현상을 방지하기 위해 연료의 공급을 인젝터 중앙으로 하지 않고 연료의 공급라인을 옆쪽에 설치하여 인젝터 내부로 연료가 흐르는 것을 최소화한 구조로 되어 있다[12]. 이 사례에서는 Fig. 7에서 인젝터를 확인하여 보았을 때 1, 2, 3 번 인젝터는 정상적으로 링이 삽입되어 있는 것을 확인하였다. 그러나 Fig. 8에서는 4번 인젝터를 확인하였을 때 4번 인젝터는 고정 링이 위로 이탈된 것을 확인할 수 있었다. 따라서, 이 사례의 화재 원인은 4번 인젝터를 교환한 다음 인젝터를 흡기 매니폴드 유니트의 조립부에 삽입할 때 고정하는 고정부를 점검하지 않고 고정부가 변형되어 흰 상태에서 조립하였다. 따라서, 이 인젝터의 변형된 고정부가 차량을 운행하던 중

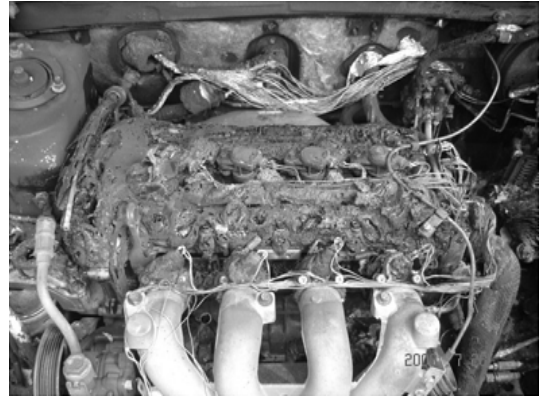


Fig. 5. Engine room condition burning by fire.

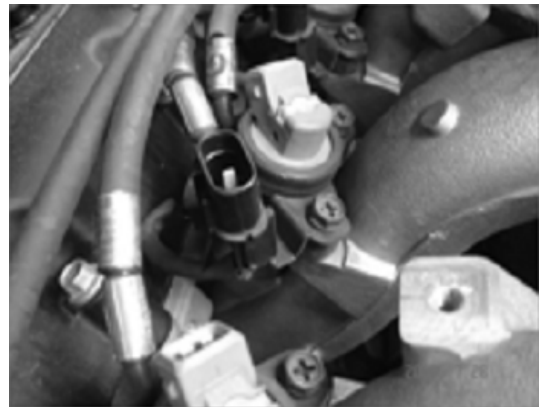


Fig. 6. Normal condition of engine room injector part before firing.



Fig. 7. Ring shape inserted in number 1,2,3 injector.



Fig. 8. Ring shape unseated from Number 4 injector.

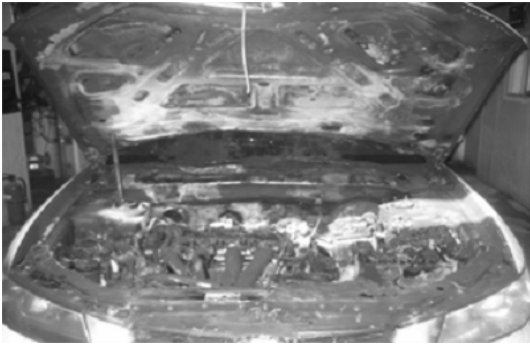


Fig. 9. Fully burning state of engine room.



Fig. 10. Burning example of fuel pressure regulator.

조금씩 이완되어 연료의 누설을 방지하는 O링이 찢어져 이 사이로 연료가 누출된 것으로 판단되었다.

3) 고찰

전자제어 LPG 엔진에서 인젝터는 흡기 매니폴드 유닛에 조립된다. 따라서, 이러한 연료의 누설을 방지하기 위해 인젝터를 교환하거나 점검할 때는 인젝터의 조립부 상태가 변형이 없는지 또는 O링의 찢어짐 및 O링의 경화상태 등을 철저히 점검하여 시스템의 관리에 만전을 기해 관리해야 한다. 또한, 인젝터를 분해 조립할 때는 O링의 불순물 오염 상태를 꼼꼼하게 확인하고, 인젝터를 교환할 때는 O링도 반드시 함께 교환하여 시스템의 내구성을 확보하여야 한다.

3.3. 연료 압력 조절기 부의 연료 누설로 인한 사례

1) 현상

엔진의 시동을 걸고 주행을 하다가 잠시 주차중 엔진룸에서 연기가 나며 차량의 화재가 발생하였다.

2) 분석

화재로 인해 엔진룸 내부, 엔진후드, 앞유리가 연소불꽃에 의해 손상되었다. 또한, Fig. 9는 엔진내부가 화재로 인해 모두 탄 사례를 보여주는 것이다. 연료압력 조절기(fuel pressure regulator)는 연료탱크에서 송출된 고압의 연료를 다이어프램(diaphragm)과 스프링을 이용하여 연료 통로내의 압력을 항상 적정된 고압으로 유지시키는 역할을 한다. 함께 부착되어 있는 연료 차단 솔레노이드 밸브는 연료 차단을 위한 밸브로 자동차에 시동을 걸었을 때 연료를 공급하고, 시동을 껐을 때 연료를 차단하는 역할을 한다. 이 사례의 경우에는 자동차를 수리할 때 연료 압력 조절기를 교환한 다음 고정부를 견고하게 고정하지 않은 것으로 확인되었으며, 이것으로 인해 연료압력 조절기의 고정부 이탈로 인해 연료가 누출되어 화재가 발생된 것으로 판단된다. 연료 압력 조절기 유닛에는 연료 차단 솔레노이드 밸브가 연결되어 있는데 수리후 이 연결 커넥터의 기밀작업을 철저히 하지 않아서 미세하게 LP 가스가 누설되다가 어느 순간에 많은 양의 가스가 누설되면서 엔진의 과열된 열에 의해 화재가 발생된 것을 확인하였다. Fig.10은 화재로 인해 손상된 연료 압력 조절기 부위의 소실된 상태를 보여주는 것이다.

3) 고찰

자동차가 운행중 연료압력 조절기와 연결되어 있

는 연료라인이 이탈하게 되면 LP 가스가 누출되어 엔진의 뜨거운 열에 의해 화재가 발생될 수 있으므로 자동차를 수리후 연료라인의 연결부는 조임토크에 맞춰 조여 주어야 한다. 또한 연결한 다음 재점검하여 누설이 생기지 않도록 철저히 관리하여야 한다.

IV. 결 론

자동차 엔진 연료시스템의 화재사례를 사례별로 분석하고 이를 고찰하여 봄으로써 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 엔진의 연료 레귤레이터 및 인젝터 사이의 고압 호스 고정용 브래킷이 이탈되어 이로 인해 호스가 빠지면서 LP 가스가 누출되어 엔진의 열에 의해 화재가 발생한 것을 확인하였다.
- 2) 4번 인젝터를 흰 상태에서 조립한 결과 연료의 누설을 방지하는 O링이 찢어져 이 사이로 연료가 누출되어 화재가 발생된 것을 확인하였다.
- 3) 연료 압력 조절기 유닛과 연결되어 있는 연료 차단 솔레노이드 밸브의 기밀불량으로 인해 LP 가스가 누설되어 엔진의 과열된 열에 의해 화재가 발생된 것을 확인하였다.

참고문헌

[1] Norman R. Byrd, Arthur Rojo and Stepem C, "Fire Resistant Composites", SAE paper 2002-

01-2957
[2] Richard E. Lyon and Richard N. Walters, "Flammability of Automotive Plastics", SAE paper 2006-01-1010
[3] John Kennedy, "The Fire and Explosion Investigator's Role in product Liability Cases", SAE paper 700681
[4] Dennis A. Guenther, Larry G. Goodwin and Ronald N. Thaman, "Forensic Analysis of Automobile Fires", SAE paper 810011
[5] Maintenance manual of Hyundai Motors, (2012)
[6] Maintenance manual of Kia Motors, (2012)
[7] Maintenance manual of GM Daewoo Motor, (2012)
[8] Leland E. Shields and Robert R. Scheibe, "Computer-Based Training in Vehicle Fire Investigation Part 2 : Fuel Sources and Burn Patterns", SAE paper 2006-01-0548
[9] Hyundai Motor Compony, "Service Training Manual - Electronic Control Engine", (2001)
[10] Il Kwon Lee, et al., "Automotive Failure Diagnosis", Sun Hak, (2002)
[11] Dieter Wolpert and Markus Egelhaaf, "Case Studies in Germany Examining the Effect of Recent Service Work on Vehicle Fires" SAE paper 2009-01-0009
[12] Hyundai Motor Company, "Electronic Control LPI System", (2005)