



커먼레일에서 연료 누유로 인해 발생한 승용차화재사례 분석

Analysis of a Car Fire Caused by a Fuel Leakage from the Common Rail

이의평*

Lee, Euiyeong*

Abstract

This study analyzed the causes of a foreign car fire. The foreign car was destroyed by fire during highway driving. As the car was scrapped two months after the fire and stored in an auto junkyard, the car was investigated in the junkyard. As a result, it was demonstrated that the fire was caused by a fuel leakage from the pipe connection which refuels a common rail. Moreover, it was analyzed that the responsibility of the fire caused by the fuel leakage from the common rail rested with a car maker and a car service center, not with a car owner.

Key words : Car Fire, Fire Investigation, Fire Cause, Fuel Leakage, Fire Case Analysis

요 지

이 논문에서는 고속도로 주행 중 화재가 발생하여 전소된 외제승용차의 화재원인을 분석하였다. 화재발생 후 2개월 경과한 시점에 폐차 처리하여 폐차장에 보관 중인 상태에서 조사한 결과, 커먼레일에 연료를 공급하는 배관의 접속에서 연료가 누유되어 화재가 발생하였음을 입증하였다. 그리고 커먼레일에서 연료가 누유되어 화재가 발생한 책임은 차주에게 있지 않고 메이커와 서비스센터에 있는 것으로 분석하였다.

핵심용어 : 차량화재, 화재조사, 화재원인, 연료누유, 화재사례분석

1. 서 론

차량 연료로 휘발유, 경유, LPG 등이 사용되고 있고, 이들 연료가 누설되면 화재로 이어질 수 있다. 차량 연료 누설은 설계 잘못(Lee, 2012), 제작 잘못(Lee, 2017a), 수리 잘못(Lee, 2014a), 고의(Lee, 2017b), 관리 부실 등 다양한 원인으로 발생하고 있다. 연료 누설로 인한 차량화재인 경우에는 급격히 확대되는 특징이 있으므로 초기진화에 실패하면 전소될 수 있고, 합성수지나 합성고무 등으로 된 연료배관은 화재로 소실되어 버린다. 따라서 전소되거나 연료배관이 소실된 차량화재에서 연료 누설로 인한 화재임을 물증을 들어 입증하는 것은 쉽지 않다.

차량이 전소되는 경우에 소훼가 심하다는 이유를 들어

적극적으로 조사하지 않고 원인미상으로 처리하는 경우가 있다. 원인미상으로 처리하여 책임소재를 가릴 수 없게 되면 소송 등 분쟁으로 비화될 수 있다.

이 논문에서는 고속도로 주행 중 화재가 발생하여 전소되었고, 폐차처리를 하여 폐차장으로 보내었다가 화재발생 2개월이 경과한 시점에 조사하여 원인을 규명한 사례를 분석하고 있다.

화재조사요원들에게 전소된 경우에도 원인규명이 가능함을 예시할 목적으로 조사 분석한 내용과 화재원인 입증 내용을 정리하여 논문으로 발표한다.

차량화재 원인은 발화개소를 판정한 후 발화개소를 발굴하거나 발화개소 내에서 화재원인이 될 만한 것들을 모두 열거한 후 가능성이 없거나 희박한 것들은 배제하고 가능성

*교신저자, 정회원, 전주대학교 소방안전공학과 교수(Tel: +82-63-220-2039, Fax: +82-63-220-2056, E-mail: krfirechief@empal.com)
Corresponding Author, Member, Professor, Department of Fire Safety Engineering, Jeonju University

이 높은 것에 대해 심도 있는 검토와 분석을 하고 물적 증거를 제시하는 귀납적 방법으로 입증한다(Lee, 2013). 이 논문에서도 이와 같은 귀납적 방법으로 화재원인을 입증(추론)하고 있다.

2. 전소로 폐차 처리된 승용차화재의 분석

2.1 화재 개요 및 화재원인조사 경위 등

승용차(2013년 11월 최초등록, 약 9만 8천 km 주행)로 운전자(차주)와 동승자 1명이 승차하여 고속도로를 주행 중 미세한 떨림과 동시에 가속페달을 밟아도 속도가 100 km/h에서 급격히 줄고 보닛에서 흰 수증기가 몇 초간 발생하고 이어서 시커먼 연기와 함께 화염이 분출하여서 급히 갓길에 정차하고 탈출하였다고 한다. 동승자가 119신고(2017년 9월 00일 10:35)를 하여 소방대가 출동하는데 시간이 걸려 전소되었다.

화재발생 후 차주는 메이커 측에 보상을 요구하였으나 거절당하자 보험회사에 보험금을 청구하여 지급받았다. 보험회사는 차주에게 보험금을 지급한 후 폐차처리를 하여 폐차장에 매각하였다. 메이커 측에서 보상 협상에 응하지 않자 보험회사는 화재발생 후 2개월이 경과한 시점에 저자에게 원인구명을 요청하였다.

원인조사 과정에서 현장 등에서 촬영한 사진 파일, 차주가 촬영한 화재 당시 동영상, 차주가 작성한 차량 화재사고 관련 문답서 사본, 메이커 서비스센터 정비기록 사본, 자동차 등록증 사본, 자동차사고 사고접수내용 사본, 교통사고 처리 협조요청 및 보험금지급청구서 사본, 소방서 발행 화재증명원 사본 등을 제공받았다.

화재발생 후 2개월 이상 경과하였고 전소된 승용차를 폐차장으로 이동한 상태이므로 보존상태가 좋지는 않았지만, 낙하물이 차실과 엔진실에 실려 있는 등 나름대로 보존되어 있으므로 화재원인조사에 현저한 지장을 줄 정도의 보존상태는 아니었다. Fig. 1은 고속도로 갓길에서 이동되기 직전에 촬영한 사진이고, Fig. 2는 폐차장에 보관 중인 화재발생 승용차를 촬영한 사진이다.

2.2 발화개소 분석

차량화재 발화개소는 건축물화재의 경우에서와 마찬가지로 소손(소훼)정도의 강약, 연소확대 방향, 금속재 등의 변색·변형·용융상황, 화재패턴 등 화재현장에 남아 있는 흔적 조사, 단락흔 조사, CCTV 또는 블랙박스 등의 녹화영상 조사, 화재감지기 감지기록 조사, 세콤 기록 조사, 목격자 진술 조사, 현장활동 소방대원의 진술 조사 등을 종합하여 판정하며(Lee, 2017d), 일부 조사할 자료가 없는 경우에는 조사할 수 있는 자료들만을 종합하여 판정한다.

차주가 촬영한 동영상을 분석한 결과 발화개소는 엔진실이 명백하고 엔진실 중 운전석 앞쪽으로 확인되며, 차실,

트렁크실, 엔진실 중 우측(조수석 앞쪽), 엔진실 좌측(전후좌우의 방향은 운전석에 앉아 전방을 주시한 경우를 기준으로 함) 중 앞쪽을 발화개소에서 배제할 수 있다(Fig. 3 참조).



Fig. 1. View of a Car that a Fire Broke Out



Fig. 2. Scrapped Car in an Auto Junkyard



Fig. 3. Captured Pictures in Video

소해된 승용차 외부 모습도 엔진실에서 차실 쪽으로 연소 확대되어 있고(Fig. 4 참조), 승용차를 지게차로 들어 올려 차체 하부를 확인한바 차체 하부와 엔진실 하부에서 발화되었다고 볼만한 특이점이 없으므로 차체 하부와 엔진실 하부는 발화개소에서 배제할 수 있다(Fig. 5 참조).



Fig. 4. Front, Rear, Left and Right Side



Fig. 5. Bottom Side

상기와 같은 이유로 발화개소는 엔진실의 운전석 앞쪽(단, 하체 부위는 제외)으로 분석(특정)할 수 있다.

2.3 화재원인 분석

앞 발화개소 분석에서 트렁크실, 차실, 차체 하부, 엔진실

하부, 엔진실 우측과 앞쪽은 발화개소에서 배제할 수 있고, 발화개소는 운전석 앞 엔진실로 특정(분석)하였다.

제공된 화재증명원, 차주가 촬영한 동영상, 차주 작성 차량 화재사고 관련 문답서와 승용차의 연소형태로 보아 방화나 담뱃불 취급 부주의 등 인적요인이나 자연발화 물질적재에 의한 화재, 교통사고에 의한 화재 등 외부적 요인에 의한 화재는 배제할 수 있다.

주행 중인 승용차는 방화나 담뱃불 취급 부주의 등 인적요인이나 외부적 요인에 의한 화재를 배제하는 경우에 연료 누유, 오일 누유, 엔진과열, 배기관 과열, 제동부위 과열, 전기적인 원인 등에 의해 화재가 발생할 수 있다(Lee, 2010a, 2014b).

엔진실 하부는 발화개소에서 배제될 뿐만 아니라 엔진오일팬, 변속기오일팬의 누유에 의한 발화흔적이 없으므로 엔진오일팬 또는 변속기오일팬의 누유에 의한 화재는 배제할 수 있다(Fig. 5 참조).

배기관이 위치한 차체 하부는 특이점이 없고(Fig. 5 참조), 배기매니폴드와 DPF (Diesel Particulate Filter; 디젤미립자포집필터)가 위치한 곳은 발화개소의 반대쪽인 조수석 앞에 위치하고 있지만 배기매니폴드 주위 가연물의 소화가 심하고 배기매니폴드 커버의 열변색이 심하고 DPF 표면에 액체가 흘러 연소된 흔적이 있으며(Fig. 6 참조), 터보차저 엔진오일 순환파이프의 접속부에 용융흔적이 있다(Fig. 7 참조). Figs. 7은 6의 ○ 부위 파이프 접속부분을 근접 촬영한 사진이다. 엔진오일이 배기매니폴드 커버나 DPF 등 고온표면에 비산되면 발화될 수 있으므로(Lee, 2010b, 2011) 터보차저를 순환하는 엔진오일이 누유되어 배기매니폴드나 터보차저에 비산되어서 발화되었을 가능성을 배제하기 어렵다. 차주가 촬영한 동영상에는 운전석 앞 엔진실에서 화염이 솟구치는 장면이 녹화되어 있지만 엔진실에서 화염이 최초 솟구치는 장면이 녹화된 것이 아니므로 배기매니폴드와 DPF가 있는 곳에서 발화된 후 운전석 앞쪽의 연료호스가 있는 쪽으로 연소확대되어 연료(경유)의 영향으로 운전석 앞쪽에서 화염이 솟구치는 것이 녹화되어 있을 수 있다고 주장할 수 있다.

제동부위가 과열되어 화재가 발생한 경우에는 제동장치가 있는 바퀴에서 발화되는데, 동영상을 통해 바퀴는 발화개소에서 배제할 수 있으므로 제동부위 과열에 의한 화재는 배제할 수 있다.

엔진실 가연물 대부분이 연소되었지만, Fig. 8과 같이 엔진 위의 커버 등 일부가 연소되지 않고 남아 있으므로 엔진 자체가 과열되어 발화되었다고 볼 수 없다.

엔진실의 하니스(harness, 전선다발)는 제거되거나 변형되어 있어 전기적인 원인에 의한 화재인지에 대해서는 확인이 불가하다.

동영상에서 화염이 솟구치는 운전석 앞 엔진실에서 외관 조사만으로 화재원인이 된 물증이 확보되지 않으므로 화재

원인에 대해 구체적으로 조사하기 위해 폐차장 측의 도움을 받아서 엔진실에서 엔진과 변속기를 분리하여 내렸다(Fig. 9 참조).

엔진실에서 엔진과 변속기를 내린바 엔진 뒤쪽 차체 프레임의 열변색은 조수석 앞쪽보다 운전석 앞쪽이 강하며, 화염이 솟구친 부위가 열변색이 강하다(Fig. 10 참조). 배기매니폴드 커버, 터보차저, DPF를 분리한바 배기매니폴드 커버 안쪽에는 특이점이 없고, 터보차저는 분해하여 확인해보니 날개회전에 이상이 없는 등 화재원인과 관련지을 수 없고, DPF로 인해 발화된 사례가 있지만(Song et al., 2012; Woo et al., 2016; Kim, 2016; Lee, 2016, 2017c) 분리해낸 DPF는 내부와 엔진쪽은 특이점이 없고 표면 쪽에 액체가 흘러내린 흔적이 있을 뿐인데(Fig. 11 참조) 이 액체가 흘러내린 흔적만으로 터보차저를 생각하기 위한 순환용 엔진오일이 용융 흔적이 있는 접속부분(Fig. 7 참조)에서 누설되어 화재가 발생한 것이라고 단정할 수는 없다.

엔진 위쪽 커먼레일 위의 합성수지로 된 커버를 분리해낸바 커먼레일 배관 접속부에 연료가 누설되어 연소된 흔적이 있고 누설되어 연소된 부위 위쪽의 합성수지 커버에 국부적으로 연소된 흔적이 있다(Figs. 12-13 참조). Fig. 14는 커먼레일을 엔진에서 분리하여 촬영한 사진이다. 커먼레일 배관 접속부의 연료가 누설된 부위 근처와 녹화동영상의 화염이 솟구치는 부위가 일치한다. 연료가 누유되어 연료공급이 안되면 차주의 진술처럼 급격히 출력이 떨어질 수 밖에 없다. 가속페달을 밟아도 반응하지 않고 속도가 급격히 감소하는 현상은 연료공급이 제대로 되지 않을 때 나타나는 현상이고, 수증기가 몇 초간 발생하고 시커먼 연기와 함께 발화되었다고 진술하고 있는데 수증기는 흰 연기를 말하는 것으로 보이며 흰 연기는 연료(경유)가 DPF나 배기매니폴드에 떨어질 때 발생하는 현상이며, 시커먼 연기는 DPF나 배기매니폴드에 연료가 떨어진 후 연료에 불이 붙은 후부터 나타나는 현상이므로 차주의 진술에 모순이 없고, 차주는 연료가 누유되어 화재가 발생할 때 나타나는 현상을 진술하고 있다.

커먼레일 접속부에 연료가 누설되어 연소된 흔적과 이 연소흔적 위의 합성수지 연소흔적은 화재발생 후 2차적으로 연료가 누설되거나 하여 이러한 흔적을 남길 수 없다. 화재발생 후 화염이 침투하여 연소흔적을 남겼다면 커먼레일 위 커버가 전체적으로 연소되어 이 화재사건 승용차와 같은 미연소된 커버를 남길 수 없으므로 화재발생 전에 연료가 누설된 것으로 분석할 수 있다.

차주 촬영 동영상에서 화염이 솟구치는 부위, 차주의 진술, 정차 후 화염이 솟구치는 현상, 커먼레일의 누유 및 연소흔적은 커먼레일에서 연료가 누설되어 화재가 발생한 것과 모순이 없다.

상기와 같은 이유로 이 화재발생 승용차는 커먼레일의 연료 누유에 의해 화재가 발생한 것으로 분석할 수 있고,

앞에서 배제하지 못한 배기관과열, 전기적인 원인, 오일 누설 등 연료 누유 외의 원인에 의한 화재는 배제할 수 있다.

차주가 흰 연기를 목격한 후 화염이 치솟았다는 것으로 보아 커먼레일의 연료가 누유되어 배기매니폴드나 DPF가 있는 곳에 뿌려져서 흰 연기가 발생하고 착화된 후 연료가 누설되는 부위 쪽으로 불이 옮겨 붙고 연료의 영향으로 연료 누설 부위(운전석 앞쪽)에서 화염을 솟구치며 연소를 한 것으로 분석할 수 있다.



Fig. 6. Cover of Exhaust Manifold and DPF



Fig. 7. Melted Pipe for Cooling of Turbo Charger



Fig. 8. Engine Compartment



Fig. 9. Engine and Transmission



Fig. 10. Frame After Disassembled Engine and Transmission



Fig. 11. Disassembled DPF



Fig. 12. Disassembled Cover of Common Rail



Fig. 13. Leakage Traces at a Connection Part



Fig. 14. Disassembled Common Rail

커먼레일시스템은 정확한 시기에 정확한 연료의 양을 전자제어 분사하여 유해배출가스 수준을 낮추기 위해서 모든 디젤자동차에 설치되어 있다(Lee, 2018). Fig. 15와 같이 저압펌프로 펌핑되고 연료필터를 거쳐 고압펌프로 들어간 후 고압펌프에서 1,600~2,000 bar의 압력으로 커먼레일에 압송하여 저장하고 인젝터는 ECU로부터 전기신호를 받아 솔레노이드밸브가 열리면 연료를 실린더 내에 고압으로 직접분사한다. 커먼레일과 인젝터가 높은 압력으로 미세한 연료입자 분사를 가능하게 하여 배기가스 배출을 줄이고 있다(Kim, 2015; Jeong et al., 2010).

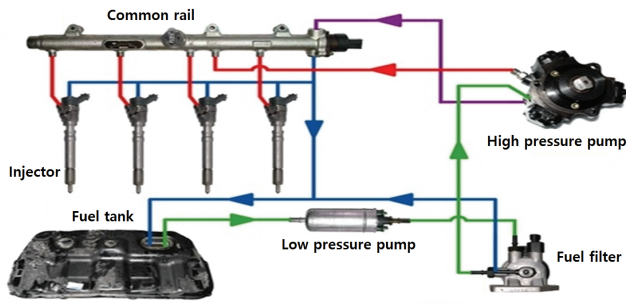


Fig. 15. Common Rail System

2.4 화재발생 책임 분석

이 화재사건 승용차는 커먼레일의 연료 누유에 의해 화재가 발생한 것으로 분석하였으므로, 커먼레일의 누유를 초래한 주체에게 화재발생 책임이 있다고 할 수 있다.

커먼레일은 폐차될 때까지 교환하지 않고 사용하는 것이 일반적이며, 이 화재사건의 승용차는 총주행거리가 10만 km 정도이고 메이커 서비스센터에서 정비를 받아왔고, 커먼레일은 차주(운전자)가 점검하거나 확인할 수 있는 부위(부품)가 아니고 소모품도 아니므로 화재발생의 책임이 차주(운전자)에 있다고 보기 어렵다.

판매자(제조사)가 정한 보증기간이라고 하고, 커먼레일은 소모품이 아니며 메이커 서비스센터에서 정비를 받아온 만큼 커먼레일의 연료누유 책임은 제조자(판매자)와 공식서비스센터에 있다.

이상의 분석 내용을 감안하면 이 사건 승용차의 화재발생 책임은 승용차 차주(운전자)와 관련이 없고 제조자(판매자)와 서비스센터에 있는 것으로 분석된다. 제조자(판매자)와 서비스센터의 책임비율은 제조자(판매자)와 공식서비스센터 상호간에 결정할 사안이다.

3. 결론

고속도로 주행 중 화재가 발생하여 전소된 외제승용차의 화재원인을 분석하였다. 화재발생 후 2개월 경과한 시점에 폐차 처리하여 폐차장에 보관 중인 상태에서 조사하여 커먼레일에 연료를 공급하는 배관의 접속부에서 연료가 누유되어 화재가 발생하였음을 객관적으로 분석한 발화개소에서 화재원인이 될 만한 것들을 모두 열거한 후 화재원인과 관련이 없는 것들은 구체적인 증거를 들어 배제하고 배제되지 못한 원인들에 대해 엔진을 내려서 구체적인 조사를 하고 물적 증거를 제시하는 방식으로 입증하였다.

커먼레일 접속부분의 누유흔적과 접속부 위쪽 합성수지 커버의 연소흔적은 커먼레일 접속부에서 누유되어 발화된 경우에만 나타날 수 있는 물적 증거이고 차주가 촬영한 동영상의 화염이 솟구치는 부위, 차주의 진술, 정차 후의 화염이 솟구치는 현상과 모순이 없으므로 커먼레일 접속부

분에서의 연료 누유 외의 다른 원인에 의한 화재는 배제할 수 있다.

화재원인을 특정하여 판정하려면 특정한 원인 외에 다른 원인이 확실히 배제될 수 있어야 하는데, 이 논문은 특정한 원인 외의 다른 원인이 완전히 배제되므로 차량화재사태 분석의 좋은 본보기가 될 수 있음을 연구 성과로 제시할 수 있다. 화재로 차량이 전소되면 화재조사요원들이 소훼가 심하다는 것을 이유로 들어 화재원인을 적극적으로 규명하지 않고 원인 미상으로 마무리하는 경향이 있는데, 이 화재사건처럼 전소되더라도 원인규명이 가능할 수 있다. 이 화재사건 원인 분석이 본보기가 되어 향후 전소된 차량 화재조사 시 적극적인 원인규명으로 이어지길 기대한다.

References

- Jeong, Y.I., Lee, J.U., Cho, G.B. and Kim, H.S. (2010) *Automotive & Environment*. Sungsil University Press, p. 108.
- Kim, I.G. (2016) A study on the risk of ignition of diesel particulate filter (DPF). *Journal of Fire Investigation Society of Korea*, Vol. 7, No. 2, pp. 73-84.
- Kim, J.H. (2015) *Automotive Diesel Engine*. GoldenBell, pp. 253-264.
- Lee, E.P. (2010a) Cause Analysis on Motor Vehicle Fires. *Proceedings of 2010 Annual Autumn Conference*, Korean Institute of Fire Investigation, pp. 31-59.
- Lee, E.P. (2010b) Cause Analysis on Motor Vehicle Fires. *Proceedings of 2010 Annual Autumn Conference*, Korean Institute of Fire Investigation, pp. 50-52.
- Lee, E.P. (2011) Analysis of an Arson Fire of Motor Vehicle. *Fire Science and Engineering*, Vol. 25, No. 6, p. 114.
- Lee, E.P. (2012) A Study on Case Analysis of Motor Vehicle Fires Which Occurred in Operation but Were Found after Parking. *Transactions of KSAE(Korean Society of Automotive Engineers)*, Vol. 20, No. 6, pp. 9-16.
- Lee, E.P. (2013) A Study on the Knuckle Crane Truck Fire Caused by a Short during Expressway Driving. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 13, No. 6, p. 272.
- Lee, E.P. (2014a) Analysis of A Car Fire Case that Broke Out due to Fuel Leakage. *Proceedings of 2014 Annual Autumn Conference*, Korean Institute of Fire Investigation, pp. 103-110.
- Lee, E.P. (2014b) Analysis of Bus Fire That Broke Out During Waiting for Traffic Light. *Proceedings of 2014 Annual Autumn Conference*, Korean Institute of Fire Science and Engineering, p. 108.

- Lee, E.P. (2016) Analysis of an Automotive Fire Case that a Fire Broke out during Driving Immediately after DPF Cleaning. *Transactions of KSAE*, Vol. 24, No. 5, pp. 556-565.
- Lee, E.P. (2017a) Case Analysis of a Foreign Car Fire that Broke Out by Fuel Leakage. *Proceeding of 2017 Annual Autumn Conference*, Korean Institute of Fire Investigation, p. 259.
- Lee, E.P. (2017b) A Case Analysis of Intentional Car Explosion. *Fire Science and Engineering*, Vol. 31, No. 4, pp. 119-127.
- Lee, E.P. (2017c) Analysis of a Car Fire Case Caused by the Overheating of a Diesel Particulate Filter. *Fire Science and Engineering*, Vol. 31, No. 1, pp. 89-97.
- Lee, E.P. (2017d) A Study on Judgement Methods of Fire Origin in Fire Investigation. *Proceedings of 2017 Annual Autumn Conference*, Korean Institute of Fire Science & Engineering, pp. 83-84.
- Lee, E.P. (2018) Characteristics of the Car Fires Related to a Diesel Particulate Filters and an Analysis of the Process of Proving Fire Causes. *Fire Science and Engineering*, Vol. 32, No. 1, pp. 99-107.
- Song, J.Y., Sa, S.H., Nam, J.W., Cho, Y.J., Kim, J.P., and Park, N.K. (2012) Analysis on Vehicle Fires Caused by Damage of Diesel Particulate Filter (DPF). *Fire Science and Engineering*, Vol. 26, No. 4, pp. 70-76.
- Woo, S.W., Moon, B.S., Ji, H.K. Cho, Y.J., Kim, J.P., Go J.M., and Park, N.K. (2016) Studies on the Mechanism of the Ignition in the Vehicle Fire Cases due to defects DPF. *Proceeding of 2016 Annual Autumn Conference*, Korean Institute of Fire Science & Engineering, pp. 79-80.

<i>Received</i>	February 24, 2018
<i>Revised</i>	March 3, 2018
<i>Accepted</i>	March 29, 2018

