인젝터에서 연료누유로 인해 발생한 승용차화재사례 분석

A Case Analysis of a Car Fire that Broke Out due to Fuel Leakage from an Injector

이의평*

Lee, Euipyong*

Abstract

This study analyzes the causes of a specific fire in a foreign car. The car driver refueled at a gas station of a highway stopover and drove about 10 km on the highway before a fire destroyed the car. The carmaker took apart the engine to investigate the causes, but they could not find the cause of the fire. The author was then asked to undertake further investigation. This second investigation revealed that fuel leaked from injector No. 1 onto the exhaust manifold cover and this ignited the fire. It also determined that the responsibility for the fire caused by the fuel leak from injector No. 1 rests with the carmaker.

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

요 지

이 논문에서는 고속도로 휴게소의 주유소에서 주유하고 고속도로를 약 10 km 주행하다가 발생한 화재로 전소된 승용차에 대해 조사하여 화재원인 분석을 하고 있다. 메이커 측에서 엔진까지 분해하여 조사하고 화재원인을 알 수 없다고 하여서 저자가 원인규명을 위한 조사를 하였다. 조사결과, 이 승용차화재는 1번 인젝터에서 누유된 연료가 배기다기관 커버에 떨어져 착화되어 화재가 발생한 것으로 분석하였다. 그리고 1번 인젝터에서 누유되어 화재가 발생한 책임은 메이커 측에 있는 것으로 분석하였다.

핵심용어 : 차량화재, 화재조사, 연료누유, 화재사례분석

1. 서 론

소방청 국가화재정보센터(<http://nfdls.go.kr>) 통계에 의하면 2017년 1년 동안 발생한 전체 화재는 44,178건이고, 차량화재는 4,971건이며 차량화재 중 고속도로에서 836건이 발생하였다. 고속도로에서 발생한 836건의 차량화재 중 승용차에서 발생한 화재는 321건, 화물차에서 432건이었다.

고속도로에서 발생한 차량화재는 차량화재 중 차지하는 비율은 높지 않지만 피해가 큰 특징이 있다(Lee, 2011a). 2017년의 경우, 일반도로에서 발생한 차량화재 2,347건의 1건당 평균피해액이 522.5만원임에 비해 고속도로에서 발생한 차량화재 836건은 1건당 평균피해액이 971.7만원으로

고속도로 쪽이 높았다. 소방관서가 시가지 등을 중심으로 배치되어 있고 고속도로에 소화전 등이 배치되어 있지 않으므로 고속도로에서 차량화재가 발생하면 소방대 출동에 상당한 시간이 소요되고 진화에 필요한 물공급도 원활하지 않은 상황이어서 소방대가 출동하더라도 전소되는 경우가 많기에 고속도로에서 발생한 차량화재의 1건당 평균피해액이 높은 것으로 분석된다.

차량화재 후 고속도로에서 정비공장 등으로 이동되는 과정에 화재원인 규명에 결정적인 부족품 등이 유실될 수도 있을 뿐만 아니라 전소되는 경우에는 더욱 화재원인 규명이 어렵게 된다. 화재원인 규명이 안 되는 경우에는 보증기한 이내이더라도 메이커 측에서 화재원인 규명이 안 되었으니

*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

책임이 없다고 하여 차주와의 사이에 분쟁이 발생한다. 메이커 측에서 조사하여 차주 측에 명백한 잘못이 있음을 입증한 경우에는 차주 측에 화재원인에 대해 통보를 해주지만, 전소되거나 차주 측 잘못과 관련 없는 화재는 원인을 알 수 없다는 조사보고서를 작성하고 한참 시간이 경과한 후에 차주 측에 알리는 경우가 많다.

이 논문에서는 고속도로 주행 중 화재가 발생하여 전소된 승용차에 대해 메이커 측에서 엔진까지 분해하고서 원인을 알 수 없다고 한 화재발생 승용차를 조사하여 원인 분석을 하고 있다.

2. 고속도로 주행 중 발생한 승용차화재 사례의 분석

2.1 화재 개요 및 보존상황 등

차주 혼자서 신차등록 후 17개월 정도 경과하고 총주행거리가 41,500 km 정도인 외제승용차로 고속도로를 이용하여 지방으로 가던 중 대략 2시간 150 km 주행한 시점(고속도로 휴게소 주유소에서 주유를 하고 약 10 km를 주행한 시점)에 ‘퍽’하는 소리가 미세하게 나고 가속페달을 밟아도 속도가 줄어들어 고속도로 줄임선풀터로 빠져 나갔고, 여러 경고등이 점등되었으며 에어컨 송풍구를 통해 검은 연기가 실내로 유입되어 시동을 끄고 탈출하였다. 119 신고(12월 17일 15:09)를 하여 소방대가 출동했음에도 전소되었다.

차주와 메이커 측 사이에 보상과 관련하여 협의가 진행되다가 결렬되었다고 하며, 메이커 측에서 엔진까지 분해하여 조사하고서 원인을 알 수 없다고 하여서 화재발생 후 1개월 경과한 시점에 저자에게 원인규명을 의뢰하여 조사하였다.

원인조사 의뢰 및 조사 과정에서 화재발생 당시 촬영한 동영상 파일, 화재 승용차를 촬영한 사진 파일, 차주(운전자)가 작성한 사고경위서 사본, 교통사고 처리협조 요청 및 자동차보험금 청구서 사본, 화재증명원 사본, 소방서 작성 화재현장 조사서 pdf파일, 메이커 정비센터 작성 사고차량 점검 소견서 pdf파일 등을 제공받았다.

화재발생 승용차는 고속도로 줄임선풀터에서 정비를 받아 온 150 km 정도 떨어진 메이커 정비공장(서비스센터)으로 이동되어 정비공장 측에서 조사한 후 옥상 위 주차장에 엔진과 변속기가 분리된 상태로 비닐 덮개로 덮여 있었다. 분리된 엔진은 정비공장 안에, 변속기는 외부 주차장의 다른 화재발생 승용차 아래에 보관되어 있었다.

2.2 발화개소 분석

화재발생 당시 촬영된 동영상에 의하면 촬영된 시점에 차실과 트렁크실은 연소되지 않은 상태임이 확인되므로 차실과 트렁크실은 발화개소에서 배제할 수 있다. Fig. 1은 화재발생 당시 5초간 촬영된 동영상 파일에서 녹화 시작 시점과 1초 후의 영상을 캡처한 사진이다. 소방대 진화 후

소방서 화재조사요원이 촬영한 사진(Fig. 2)을 통해서도 엔진실 쪽에서 차실 쪽으로 연소확대 되었음이 확인된다.

상기와 같은 이유로 차실과 트렁크실은 발화개소에서 배제할 수 있고, 발화개소는 엔진실로 분석(한정)할 수 있다.

Fig. 1. The Pictures Captured in Video

Fig. 2. The Pictures that a Fire Investigator Filmed at Fire Scene

2.3 화재원인 분석

소방서 작성 화재현장 조사서, 차주(운전자) 작성 사고 경위서와 승용차의 연소형태로 보아 방화나 담뱃불 취급 부주의 등 인적요인이나 자연발화 물질 적재에 의한 화재, 교통사고에 의한 화재 등 외부적 요인에 의한 화재는 배제할 수 있다.

엔진 가동 중인 승용차는 방화나 담뱃불 취급 부주의 등 인적요인이나 외부적 요인에 의한 화재를 배제하는 경우

에 연료누유, 오일누유, 엔진과열, 배기관 과열, 제동부위 과열, 전기적인 원인 등에 의해 화재가 발생할 수 있다(Lee, 2010a, 2014).

엔진오일, 변속기오일, 브레이크오일 등 오일이 누유되어 배기관과 같은 고온부분에 닿으면 화재로 이어질 수 있는데 (Lee, 2010b, 2011b), 메이커 정비공장 측에서 엔진과 변속기 등을 분리하여 분해(Fig. 2 참조)한 후에 조사를 하여서 엔진실과 차체 하부를 확인할 수 없고, 엔진실의 소화가 심하여 오일 누유와 화재원인의 관련성을 조사할 수 없다.

배기관 과열로 인한 화재와 관련하여 DPF(Diesel Particulate Filter, 미세먼지저감장치)로 인해 발화된 사례도 있고(Song et al., 2012; Woo et al., 2016; Kim, 2016; Lee, 2016a, 2017) 배기관으로 인해 발화된 사례(Son, 2011)가 있는데 Fig. 3과 같이 DPF와 배기관에 화재원인과 관련지을만한 특이점이 없으므로 배기관 과열은 이 사건 화재의 원인에서 배제된다.

Fig. 3. DPF and Exhaust Pipe

제동부위가 과열되어 화재가 발생한 경우에는 제동장치가 있는 바퀴에서 발화되는데(Kim and Lee, 2014; Jeon et al., 2006), 바퀴는 발화개소에서 배제할 수 있으므로 제동부위 과열에 의한 화재는 배제할 수 있다.

승용차 전원은 직류 12V로 차체가 -극, 전선이 +극으로 되어 있어 전선 피복이 손상을 입어 차체와 닿으면 화재로 이어질 수 있으므로 전선 피복이 손상되기 어렵게 합성수지 주름관 속에 넣어져 다발형태로 하고 있으며 이 전선 다발을 하니스(harness)라고 한다. 화재진화 직후 촬영된 사진에서 Fig. 4와 같이 엔진실 하니스 주름관과 전선 피복이 모두 소실되어 구리선이 노출되어 있고, 조수석 앞 배선함과 서포트레일 위 전선 및 운전석 앞 서포트레일 위 전선에 열에 의한 용융흔적이 있고, 전기기기 등이 모두 소화된 상태이고, 분리해 놓은 엔진 주위의 바닥에 낙하되어 있는 일부 전선에서 단락흔이 식별된다. 단락흔은 화재를 일으킨 것(1차단락흔)인지 화재로 인해 2차적으로 단락되어 생긴 것(2차단락흔)인지 외관만으로 판단할 수도 없고(Lee et al., 2001; Hijikata, 2012), 엔진실의 소화가 심하고 열흔과 단락흔이 혼재해 있어서 전기적인 요인에 의한 화재인지에 대해서는 판단하기 어렵다.

Fig. 4. Electric Harness in Engine

메이커 측에서 분리해 놓은 엔진에 대해 아래와 같이 구체적인 조사를 하였다. 엔진 좌측면은 Fig 5와 같이 고압펌프 커넥터(고압펌프의 연료공급 배관) → 리턴 파이프 커넥터 → 고압펌프 → 커먼레일 쪽으로 연소확대된 흔적이 있고, 발전기의 케이스 아래쪽이 용융되어 있으며, 고압펌프 커넥터와 발전기 케이스 아래쪽 용융부위 사이의 엔진 측면 가연물이 심하게 연소되어 있는 특이점이 있다.

Fig. 5. Left Side of Engine

엔진 우측면은 Fig. 6과 같이 DPF에는 발열흔적이 없고 실린더 블록 아래쪽이 용융되어 있으며, 터보차저 앞쪽 케이스가 용융되어 있고, 엔진 앞쪽은 터보차저 앞쪽과 서모스탯이 있는 부위가 용융되어 있는 특이점이 있다. 다만, 분리되어 있는 서모스탯을 조사한 바 서모스탯 자체에는 특이점이 없다. 엔진 뒷면은 화재원인과 관련지를 만한 특이점이 없다.

Fig. 6. Right and Front Side of Engine

엔진 아래쪽은 Fig 7과 같이 내부의 크랭크 축 등에 발열흔적이 없지만, Fig. 8과 같이 알루미늄 재질의 엔진오일팬이 뚫려서 엔진오일이 전혀 없는 특이점이 있다. 엔진오일팬이 뚫린 이유를 확인하려면 뚫린 부위를 직접 확인하여야 하는데 메이커 측에서 조사한 후 엔진오일팬을 버려서 직접 조사하지 못하였다.

Fig. 7. Crank Shaft Etc

Fig. 8. Engine oil Pan

엔진 위쪽은 Figs. 9 및 10과 같이 커먼레일의 연료공급관 접속부 부근에 국부적인 열변색흔적이 있고, 1번 인젝터 헤드 부분이 상대적으로 연소상태가 심하며, 1번 인젝터에서 2번 인젝터를 거쳐 3번과 4번 인젝터 쪽으로 연소확대된 모습을 하고 있고, 1번 인젝터 좌우에 있는 캠축에 국부적인 열변색흔적이 있는 특이점이 있다. 1번 인젝터에서 4번 인젝터 쪽으로 연소확대된 모습과 1번 인젝터 좌우 캠축의 국부적인 열변색흔적은 1번 인젝터에서 연료(경유)가 누설될 때 나타날 수 있다.

Fig. 9에서 화살표로 표시(↓)한 커먼레일의 연료공급관 접속부 부근에 있는 국부적인 열변색흔적은 고압펌프 커넥터 쪽에서 연소확대된 화열 공격(Fig. 5 참조)에 의해 생성된 것으로 분석된다.

인젝터를 분리해서 조사한바 인젝터 끝부분 쪽에 Figs. 11 ~ 13과 같이 기밀유지용 동판 링이 끼워져 있고 1번 인젝터의 동판 링에 누유흔적(○ 부분)이 있는 특이점이 있다.

Fig. 9. Top Side of Engine

Fig. 10. No.1 Injector Surroundings

Fig. 11. Disassembled 4 Injectors

Fig. 12. Cu plater Rings in 4 Injectors

Fig. 13. Leakage Traces of Cu Plate Ring at No.1 Injector

엔진오일 부족 등으로 엔진 가동 중 윤활이 원활하지 않은 경우에는 엔진 내부에 마찰이 있는 경우에는 엔진 실린더, 피스톤, 커넥팅 로드 등에 마찰흔적이 남아 있는데(Lee, 2015a, 2015b; Kim, 2010), 이 사건 승용차 엔진의 실린더, 실린더헤드 개스킷, 피스톤과 커넥팅로드에 화재원인과 관련될만한 특이점이 없다.

이상의 조사결과를 정리하면 화재원인은 외부적인 요인과 관련이 없고, 승용차 내부적인 요인에 의해 발생했는데 엔진과열, 배기관 과열, 제동부위 과열에 의한 화재는 배제되지만 오일누유, 전기적인 원인, 연료누유는 배제할 수 없다. 오일누유, 전기적인 원인, 연료누유에 대해서는 아래에서 구체적으로 검토한다.

3. 화재원인 분석 과정에 도출된 특이점에 대한 검토

커먼레일과 인젝터 등 커먼레일분사시스템에 대해 알아보고, 화재원인 분석 과정에 도출된 특이점에 대해 검토한다.

3.1 커먼레일분사시스템(Kim, 2015)

커먼레일 디젤분사 장치는 자동차가 운행 중에 필요로 하는 디젤연료를 고압펌프를 통해 커먼레일로 압송한 후 전자제어장치(ECU)가 운전조건에 따라 필요한 연료분사량과 연료분사 시기를 조절하여 인젝터로 분사하는 시스템으로 연료소비율 및 유해배출물의 수준을 낮추고, 출력을 높일 수 있다. Fig. 14는 연료탱크에서부터 인젝터에서 연료가 분사되기까지의 개략적인 시스템을 나타내고 있다. 연료탱크의 연료가 저압펌프를 통해 펌핑되어 연료필터를 거쳐 고압펌프로 들어가고, 고압펌프는 연료를 1,600~2,000 bar의 고압으로 만들어 커먼레일 시스템으로 보내어 커먼레일에 저장하고 압력이 과도할 때는 밸브가 열려 연료를 리턴하여 항상 일정한 압력을 유지한다. 인젝터는 ECU로부터 전기신호를 받아 솔레노이드 밸브가 열리면 커먼레일에 저장되어 있는 연료를 실린더 내에 고압으로 직접분사한다. 엄격한 배기가스 규제를 만족하려면 높은 연료분사압력과 미세한

연료입자 분사로 가능한데 커먼레일은 높은 압력을 가능하게 하고 인젝터는 미세한 연료입자 분사를 가능하게 한다. 인젝터는 실린더 헤드 중앙에 직립 형태로 장착되며, 인젝터 안쪽에 기밀유지를 위해 동판 링이 삽입되어 있다.

Fig. 14. Common Rail System (Jeong et al., 2010)

3.2 화재원인과 관련될만한 특이점

위 화재원인 분석에서 오일누유, 전기적인 원인, 연료누유를 화재원인에서 배제할 수 없었다. 또한 위 화재원인 분석의 엔진과 관련된 조사 분석 결과를 종합하면 아래와 같은 4가지 특이점이 있다.

첫째, 엔진 좌측면은 고압펌프 커넥터 → 리턴 파이프 커넥터 → 고압펌프 → 커먼레일 쪽으로 연소확대된 흔적이 있고, 발전기의 케이스 아래쪽이 용융되어 있으며, 고압펌프 커넥터와 발전기 케이스 아래쪽 용융부위 사이의 엔진 측면 가연물이 심하게 연소되어 있다(Fig. 5 참조).

둘째, 엔진 우측면과 앞쪽은 실린더 블록 아래쪽이 용융되어 있으며, 터보차저 앞쪽 케이스가 용융되어 있고, 터보차저 앞쪽에 위치한 서모스탯 고정부분 금속(알루미늄)이 용융되어 있다(Fig. 6 참조).

셋째, 엔진오일팬이 뚫려 있고 엔진오일이 전혀 없다(Fig. 8 참조).

넷째, 1번 인젝터 헤드 부분이 상대적으로 연소상태가 심하며, 1번 인젝터에서 2번 인젝터를 거쳐 3번과 4번 인젝터 쪽으로 연소확대된 모습을 하고 있고(Fig. 9 참조), 1번 인젝터 좌우에 있는 캠축에 국부적인 열변색흔적이 있고, 1번 인젝터 동판 링에 누유흔적이 있다(Figs. 9~12 참조).

3.3 특이점에 대한 검토 분석

위 4가지 특이점에 대해 아래와 같이 구체적으로 검토하고 분석을 하였다.

3.3.1 엔진 좌측면

엔진 좌측면은 고압펌프 커넥터 → 리턴파이프 커넥터 → 고압펌프 → 커먼레일 쪽으로 연소확대된 흔적이 있고, 발전기의 케이스 아래쪽이 용융되어 있으며, 고압펌프 커넥

터와 발전기 케이스 아래쪽 용융부위 사이의 엔진 측면 가연물이 심하게 연소되어 있는 것은 엔진 아래쪽에서 화열 공격을 받은 경우에 나타날 수 있다.

이러한 흔적(특이점)은 고압펌프 커넥터에서 연료가 누유되어 발화되고 화재가 확대되는 과정에 화열에 의해 엔진오일팬이 용융되어 뚫리는 경우에도 나타날 수도 있고, 고압펌프 커넥터 연료 누유가 아닌 다른 원인으로 발화되어 화재가 확대되는 과정에 엔진 하부의 엔진오일팬이 용융되고 용융된 부위로 엔진오일이 누유되고 엔진오일이 바닥으로 흐르며 연소된 경우에도 나타날 수 있다.

메이커 측에서 엔진오일팬을 분해한 후 버려서 엔진오일팬을 직접 확인하지 못하였으나 메이커 측에서 촬영한 사진에 의하면 발전기 아래쪽 부위의 엔진오일팬에 구멍이 뚫려 있다(Fig. 8 참조).

알루미늄 재질의 엔진오일팬이 화재 발생 전에 주행 중 손상을 입었을 수 있다고 주장할 수 있다. 고속도로 휴게소 주유소에서 주유를 하였으므로 휴게소 이전에 주행 중 손상되었다면 주유소에서 연료주유 중 엔진오일이 누유됨을 주유소 측에서 확인할 수 있고 화재 후 정보제공을 하였을 것이지만 이러한 정보제공이 없었다. 또한 엔진 내부 크랭크축 등에도 과열흔적이 없는 것으로 보아 휴게소 이전에 엔진오일팬이 손상되지 않고 엔진오일이 누유 되지 않은 것으로 분석할 수 있다. 주유소에서 줄임쉘터까지 약 10 km의 거리이고 이 거리를 주행 중 손상을 입었다면 고속도로 바닥의 이물질이 튀어 엔진오일팬에 강하게 충격을 가해야 하고 강하게 충격을 가했다면 운전자가 충격을 인지하였을 가능성이 있고 다른 차량도 이 이물질에 의해 충격을 받았을 가능성이 있는데 이러한 정보가 없었다. 설령 충격을 인지하지 못하였더라도 주행로에 엔진오일이 누유되어 있어(Park, 2010) 소방서 조사요원이나 견인차 기사 등으로부터 쉘터 주행로에 엔진오일이 누유된 흔적이 있다는 정보제공이 있었을 것인데 이러한 정보제공이 없는 것으로 보아 주행 중 엔진오일팬이 손상되어 엔진오일이 누유된 것으로 보기 어렵다.

상기와 같은 이유로 발전기의 케이스 아래쪽이 용융되어 있으며, 고압펌프 커넥터와 발전기 케이스 아래쪽 용융부위 사이의 엔진 측면 가연물이 심하게 연소되어 있는 것은 화재 발생 후 화재가 확대되는 과정에서 엔진오일팬이 용융되어 엔진오일이 누유되고 누유된 오일이 바닥 쪽에서 연소되면서 생성된 것으로 분석(추정)할 수 있지만, 고압펌프 커넥터에서 연료 누유가 있었는지는 판단하기 어렵다.

3.3.2 엔진 앞쪽과 우측면

엔진 우측면의 실린더 블록 아래쪽이 용융되어 있으며, 터보차저 앞쪽 케이스가 용융되어 있고, 터보차저 앞쪽에 위치한 서모스탯 고정부분 금속(알루미늄제)이 용융되어 있는 것은 아래쪽에서 화열공격을 한 경우에 나타날 수 있다.

엔진 우측면 실린더 블록 아래쪽에서의 화열공격은 엔진 오일팬에 구멍이 뚫려서 엔진오일이 누유되고 바닥 쪽에 누유된 오일이 연소하는 경우에 나타날 수 있다.

상기와 같은 이유로 엔진 우측면의 실린더 블록 용융, 터보차저 앞쪽 케이스 용융, 터보차저 앞쪽 서모스탯 고정부분 금속 용융은 엔진오일팬이 용융되고 용융된 부위를 통해 오일이 누유되고 바닥으로 흐른 엔진오일이 연소되면서 2차적으로 용융된 것으로 분석(추정)된다.

3.3.3 1번 인젝터

1번 인젝터 헤드 부분이 상대적으로 연소상태가 심하고, 1번 인젝터에서 2번 인젝터를 거쳐 3번과 4번 인젝터 쪽으로 연소확대된 모습을 하고 있고, 1번 인젝터 좌우에 있는 캠축에 국부적인 열변색흔적이 있고, 동판 링에 누유흔적이 있는 것은 1번 인젝터에서 누유된 경우에만 나타날 수 있을 뿐이며, 오일누유, 전기적인 원인, 고압펌프 커넥터 부근에서의 연료 누유 원인으로 발화된 경우에는 나타날 수 없다.

위와 같은 특이점으로 보아 1번 인젝터에서 누유되어 발화된 것으로 분석할 수 있다.

경유는 엔진실 안에서 누유되더라도 전기스파크와 같은 점화원에는 불이 붙기 어렵고 배기관과 같은 고온표면에 비산되었을 때 불이 붙는다(TFD 2010; Lee, 2016b). Fig. 15와 같이 배기다기관 커버에 열변색흔적이 있는 것으로 보아 1번 인젝터에서 누유된 연료가 배기다기관 커버에 떨어져 착화된 것으로 분석(추정)할 수 있다.

Fig. 15. Cover of Exhaust Manifold

3.3.4 엔진오일팬

위에서 검토한 것처럼 엔진오일팬의 뚫림은 화재가 확대되는 과정에서 화재열에 의해 용융(알루미늄 용점: 약 660℃)되어 생성된 것으로 분석된다.

상기의 검토 결과를 종합하면 고압펌프 커넥터 부근에서의 연료누유에 의해 발화되었다고 보기 어렵고, 화재열에 의해 엔진오일팬이 용융되어 뚫리어 엔진오일이 바닥으로 흘러내려 연소되면서 엔진 좌측의 발전기 아래쪽과 엔진

우측 실린더 블록을 용융되게 하였고, 이 사건 승용차 화재는 1번 인젝터에서 연료가 누유되어 발생한 것으로 분석할 수 있다.

3.4 화재발생 책임 분석

이 사건 승용차 화재는 1번 인젝터에서 연료가 누유되어 발생한 것으로 분석되므로, 화재발생 책임은 1번 인젝터에서 연료 누유 발생 주체와 관련되어 있다.

1번 인젝터는 엔진실 안의 엔진 커버 아래에 위치해 있어 차주나 운전자가 점검할 수 있는 부분이 아니며, 화재발생 차량은 최초차량등록되고 17개월도 경과하지 않았고 총주행거리가 41,500 km 정도이므로 차주(운전자)의 관리 부실로 1번 인젝터에서 연료가 누유 되었다고 볼 수도 없으며, 차주나 운전자가 1번 인젝터를 만지거나 훼손하여 누유되었다고 볼 수도 없고, 교통사고 등에 의한 외력이 가해졌다고 볼만한 흔적이 없으므로 차주(운전자)에게 화재발생 책임이 있지 않다.

1번 인젝터에 영향을 줄만한 정비나 사고 정보가 없으므로 1번 인젝터에서의 누유 발생의 책임은 제조자(판매자)에게 있다.

이상의 분석 내용을 감안하면 이 사건 승용차의 화재발생 책임은 승용차 차주(운전자)와 관련이 없고, 설령 고압펌프 커넥터에서 연료 누유에 의해 화재가 발생한 경우에도 화재발생 책임은 차주(운전자)와 관련이 없고 제조자(판매자)에 있는 것으로 분석된다.

4. 결 론

고속도로 주행 중 발생한 화재로 전소된 승용차에 대해 메이커 측에서 엔진까지 분해한 후 원인을 알 수 없다고 하여 이 화재사건 승용차를 조사하였다.

조사한 결과, 1) 엔진 좌측면의 고압펌프 커넥터에서 위쪽으로 확대되고 고압펌프 커넥터와 발전기 케이스 아래쪽 용융부위 사이의 엔진 측면 가연물이 심하게 연소되어 있고, 2) 엔진 우측면과 앞쪽은 실린더 블록 아래쪽이 용융되어 있으며 터보차저 앞쪽 케이스가 용융되어 있고 터보차저 앞쪽에 위치한 서모스탯 고정부분 금속이 용융되어 있고, 3) 엔진오일팬이 뚫려 있고 엔진오일이 전혀 없으며, 4) 1번 인젝터에서 4번 인젝터 쪽으로 연소확대되고 1번 인젝터 좌우 캠축에 국부적인 열변색흔적이 있고 1번 인젝터 동판 링에 누유흔적이 있는 등 4가지 특이점이 있었다.

위 4)의 특이점은 1번 인젝터에서 누유된 경우에만 나타날 수 있는 점과 배기다기관 커버에 열변색흔적이 있는 점을 근거로 이 사건 승용차 화재는 1번 인젝터에서 누유된 연료가 배기다기관 커버에 떨어져 착화되어 발화된 것으로 분석하였다.

그리고 1번 인젝터 누유 발생 책임은 차주(운전자)와 관련

이 없고 메이커측에 있는 것으로 분석하였다.

이 승용차화재 사례 분석이 차량화재 조사 기술 발전과 화재예방에 기여하길 기대한다.

References

- Hijikata, T.M. (2012). Judgement of electric fire causes in fire investigation and its points to be noted. *Journal of Japan Association for Fire Science and Engineering*, Vol. 62, No. 2, pp. 12-13.
- Jeon, W.J., Park, J.J., Oh, J.G., Moon, B.S., Cho, Y.J., Park, N.K., et al. (2006). The research of vehicle fire according to dry-friction. *Korean Journal of Forensic Science*, Vol. 7, No. 1, pp. 63-69.
- Jeong, Y.I., Lee, J.U., Cho, G.B., and Kim, H.S. (2010). *Automotive & environment*. Sungsil University Press, p. 108.
- Kim, E.S. (2010). Forensic engineering study on damage assessment of the damage to the internal parts of a vehicle involved in a fire accident. *Transactions of Korean Society of Mechanical Engineers A*, Vol. 34, No. 3, pp. 255-261.
- Kim, I.K. (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* (3rd ed., pp. 253-264). Golden-Bell Corp.
- Kim, Y.H., and Lee, E.P. (2014). Analysis of the truck fire caused by return spring defect of a braking system during expressway driving. *Transactions of Korean Society of Automotive Engineers*, Vol. 22, No. 2, pp. 148-155.
- Lee, E.P. (2010a). Cause analysis on motor vehicle fires. *Proceeding of 2010 Autumn Annual Conference*, Korean Institute of Fire Investigation, pp. 50-52.
- Lee, E.P. (2010b). Cause analysis on motor vehicle fires. *Proceeding of 2010 Annual Autumn Conference*, Korean Institute of Fire Investigation, pp. 31-59.
- Lee, E.P. (2011a). Analysis of actual state of motor vehicle fires in Korea. *Fire Science and Engineering*, Vol. 25, No. 2, p. 56.
- Lee, E.P. (2011b). Analysis of an arson fire of motor vehicle. *Fire Science and Engineering*, Vol. 25, No. 6, p. 114.
- Lee, E.P. (2014). Analysis of bus fire that broke out during waiting for traffic light. *Proceeding of 2014 Annual Autumn Conference*, Korean Institute of Fire Science

- and Engineering, p. 108.
- Lee, E.P. (2015a). Analysis of a bus fire case that broke out due to damage of engine oil pan. *Proceeding of 2015 Annual Spring Conference*, Korean Institute of Fire Science and Engineering, pp. 89-90.
- Lee, E.P. (2015b). Analysis of an automotive fire case that broke out due to knocking after ecu mapping. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 15, No. 6, pp. 251-259.
- Lee, E.P. (2016a). Analysis of an automotive fire case that a fire broke out during driving immediately after DPF cleaning. *Transactions of Korean Society of Automotive Engineers*, Vol. 24, No. 5, pp. 556-565.
- Lee, E.P. (2016b). Analysis of a car fire case deciding at courts that a fire broke out due to manufacture defect. *Fire Science and Engineering*, Vol. 30, No. 3, p. 98.
- Lee, E.P. (2017). 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., Ohtani, H., Seki, T., Hasegawa, H., Imada, S., and Yashiro, I. (2001). A fundamental study on electrical molten marks. *Bulletin of Japan Association for Fire Science and Engineering*, Vol. 51, No. 1, pp. 1-10.
- Park, G.W. (2010). Fires related with turbo charger. *Journal of Fire Investigation Society of Korea*, Vol. 2, No. 1, p. 68.
- Son, H. (2011). Study on car fires due to heat of exhaust pipe and friction heat. *Journal of Fire Investigation Society of Korea*, Vol. 3 No. 1, pp. 27-31.
- 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.
- TFD (Tokyo Fire Department). (2010). *New fire investigation handbook* (Vol. 8). Tokyo Disaster Prevention & Emergency Medical Service Association, Tokyo, p. 20.
- Woo, S.W., Moon, B.S., Ji, H.K., Cho, Y.J., Kim, J.P., Go J.M., et al. (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.

Received	June 1, 2018
Revised	June 7, 2018
Accepted	July 9, 2018