

엔진계통 손상에 의한 차량화재 사고 사례

글 김진표 국립과학수사연구소 화재연구실장

1. 머리말

국내 통계청 자료에 따르면 국내에서 등록되어 있는 차량 등록대수는 2011년 기준 1,843만여대에 이르고 있으며, 이는 전체인구 2.75명 당 1대 꼴로 꾸준히 증가하고 있는 추세에 있다. 차량 등록대수의 증가에 따라 차량 관련 사건사고 또한 지속적으로 증가하는 추세이며, 이중, 차량 화재 사고의 경우, 2011년을 기준으로 전체 43,875건의 화재사고 중, 5,595건이 발생하여 전체 화재에서 12.75%의 비율로 시설물 관련 화재를 제외하

면 가장 큰 비중을 차지하고 있다. 이러한 차량 화재 사고는 꾸준히 증가하는 추세이며, 화재 발생 원인에 대해서는 방화 및 미상으로 처리되는 1,100여건을 제외하고, 대부분 발화원인이 규명되고 있다.

그러나 국내에서 운행되고 있는 차량의 다양한 연료 방식 및 엔진 형태에 따라 정확한 화재원인에 대한 조사가 이루어지지 못해 발화원인이 제대로 규명되지 못하는 것 또한 사실이다. 특히 차량의 경우 성능개선이나 새로운 시스템의 개발 등에 연구 분야가 치중되어 있으며, 사고 후 발생하는 현상에 대해서는 구성부품의 손상 및 원활한 사고접수가 되지 않는 등의 문제로 충분한 연구가 이루어지지 못하고 있는 실정이다. 일부에서 차량 전기계통이나 엔진계통 및 배기계통 과열에 의한 화재에 대해서는 사고사례 분석 및 실험적 연구가 진행되어 있으며, 이를 기반으로 차량화재 조사에 적용되고 있다.

여기에서는 주행 중 엔진계통의 손상에 의해 발생하는 차량화재 사고에 대한 사례를 분석하였다.

2. 차량 엔진의 구성

자동차는 원동기를 사용하여 궤도 또는 가선에 의존하지 않고, 운행되는 것으로 원동기에 의해 육상에서 이동할 목적으로 제작한 기계장치이다. 자동차 1대가 만들어지기 위해서는 15,000여개 이상의 부품을 조립하는 것으로 이루어지는데, 차량의 대표적인 구조는 엔진과 샤프트, 전기전자시스템, 구동장치 및 공조장치 등으로 구성된다.

[그림 1]에는 차량 엔진의 개략적인 구성을 나타낸 것으로 보통 차량 앞부분의 엔진룸 내에 위치하며, 연료탱크로부터 연료를 공급받아 동력을 발생시킴으로써 구동력을 만들어 차량을 운행할 수 있게 하고, 발전기를 통해 전기를 만들어 저장시키는 역할을 담당한다. 이러한 엔진은 연료 방식에 따라 다소 차이는 있으나, 엔진을 지속적으로 작동하기 위해서는 연료장치, 점화장치, 윤활유 및 냉각장치 등이 필수적이다.

가. 연료장치

연료장치는 엔진 내에서 연소될 혼합기를 만들기 위해 가솔린이나 가스 등을 공기와 섞는 것으로 대부분 전자 연료분사장치를 장착한다. 전자제어 모듈로 구성되는 ECU에서 한 개 또는 여러 개의 연료분사기를 동시에 제어함으로써 엔진에 연료가 필요할 때 ECU로부터 신호가 인젝터를 열게 하여 연소를 위한 연료-공기의 혼합기를 만든다. 연료계통의 구체적인 단계를 살펴보면 전자제어 연료분사장치의 연료공급은 흡입필터를 통해 연료펌프에 전달되며, 연료공급 파이프 및 고압필터를 거쳐 각각 인젝터에 분배된다. 인젝터에 걸리는 연료의 압력은 압력조절기에 의해 이루어지고, 이때의 압력은 흡기다기관 내의 압력

보다 항상 3.35kg/cm² 더 높은 압력이 일정하게 유지되도록 되어 있으며, 규정 압력 이상 여분의 연료는 연료 회수관을 통해 연료탱크로 되돌아간다.



[그림 1] 차량 엔진의 개략적인 구성

나. 점화장치

엔진의 실린더에 연료-공기의 혼합기가 들어온 후, 피스톤은 실린더 위쪽으로 움직여 혼합기를 압축하고, 점화플러그에서 전기불꽃을 발생시켜 혼합기를 점화시킨다. 이때 실린더 룸 내에서 발생하는 연소과정에 의해 차량이 움직이는데 필요한 동력을 만들어 낸다.

다. 윤활장치

엔진의 각 부품들은 마찰을 줄여 마모현상을 방지하기 위하여 윤활장치를 설치하며, 윤활장치는 엔진내부의 각 미끄럼 운동부에 윤활유(오일)를 공급하여 마찰열로 인한 베어링의 고착 현상 등을 방지한다. 윤활장치는 각 부품들 사이의 운동면에 유막을 형성하여 마찰력이 큰 고체마찰을 마찰력이 작은 액체마찰로 바꾸어 주는 작용을 한다. 윤활장치는 엔진 하부의 오일팬에 3~4리터의 윤활유가 있으며, 엔진은 오일팬에서 윤활유를 퍼올려 엔진의 각부에 보내는 오일펌프를 구동하는데 윤활유의 순환 경로는 오일을 여과하는 오일필터의 설치에 따라 전류식, 분류식 및 두 가지를 결합한 복합식이 있다. 가솔린 엔진의 경우 전류식을 많이 사용하고, 디젤 엔진의 경우에는 복합식을 많이 적용하고 있다.

라. 냉각장치

엔진의 실린더에서 연소가 진행됨에 따라 연소열이 발생되는데 이러한 발열이 제거되지 않는다면, 금속제의 엔진부품에 손상을 가져오게 된다. 연소열 중 일부는 피스톤을 아래로 내리는데 사용되는 유용한 열이고, 나머지는 고온의 연소가스와 함께 실린더 밖으로 배출되거나 냉각장치에 의해 제거되어 버려지는 열이다.

냉각장치는 엔진을 냉각하여 과열을 방지하고 적당한 온도를 유지하기 위한 장치로 엔진 온도를 약 80~90℃로 유지시키기 위한 역할을 담당한다. 냉각장치의 워터펌프는 엔진과 라디에이터 사이에서 냉각수를 순환시키는 역할을 하며, 외부의 공기는 라디에이터의 열을 흡수하여 뜨거워진 냉각수를 식히는데 이 과정에서 냉각팬은 공기가 라디에이터를 통해 움직이는 것을 돕고, 서모스탯은 냉각수가 적절한 온도를 유지하게 하는 기능을 한다.

3. Over-run에 의한 피스톤 파손

가. 차량 외부 연소형상

화재가 발생한 차량의 연소형상은 [그림 2]와 같이 전반적으로 심하게 연소된 상태로 연소 가능한 가연물 대부분이 연소된 상태이다. 사진 개요는 차량이 주변 구조물에 걸려 있던 상태에서 동 부분으로부터 벗어나기 위한 과정에서 가속페달을 지속적으로 구동하였다는 특징이 있다. 차량 내부에 대한 검사 과정에서 발화와 관련지를 만한 전기적 특이 점은 식별되지 않는 상태로서 차량 내부의 전기적 결함에 의한 발화 가능성은 배제 가능한 상황이다.



(a) 차량 전면의 소훼 모습

(b) 차량 후면의 소훼 모습

[그림 2] 차량 외부의 연소형상

나. 차량 엔진룸의 연소형상

엔진룸의 내부의 연소형상은 [그림 3]에 나타낸 바와 같이 연소 가능한 가연물이 대부분 연소된 상태이고, 엔진룸 주변의 알루미늄으로 구성된 부분이 일부 용융 유실된 상태이다. 엔진에 대한 분해 검사 시 엔진은 6기통 V형식의 구성으로 엔진 내부 실린더 내측은 그을음이 다수 부착된 형상이 식별되고, 상대적으로 심한 열변색 및 오염된 상태인 2번 피스톤이 파손된 형상이다.



[그림 3] 엔진룸 및 피스톤 파손 형상

다. 발화원인에 대한 검토

화재가 발생한 차량이 발화개소는 외부 구조물에 차량이 걸려 있던 상태에서 동 부위에서 탈출하기 위해 지속적으로 가속페달을 작동하였던 주변 상황, 엔진룸 내부를 중심으로 연소 확대된 연소형상 및 엔진 내부의 2번 피스톤과 이에 연결되는 커넥팅 로드가 파손된 점을 종합적으로 고려할 경우, 엔진룸 주변으로 한정 가능한 상황이다. 가속페달을 작동시키는 과정에서 over-run 상태(과레이싱 상태)가 지속되고, 최종적으로 엔진 내부 2번 피스톤이 파손되는 과정에서 엔진 하부가 파손되어 고온의 연소가스가 직접적으로 엔진룸 주변으로 새어 나오면서 주변 가연물에 착화된 것으로 볼 수 있다.

4. 유회불량에 의한 피스톤 및 엔진 외함 파손

가. 차량 외부 연소형상

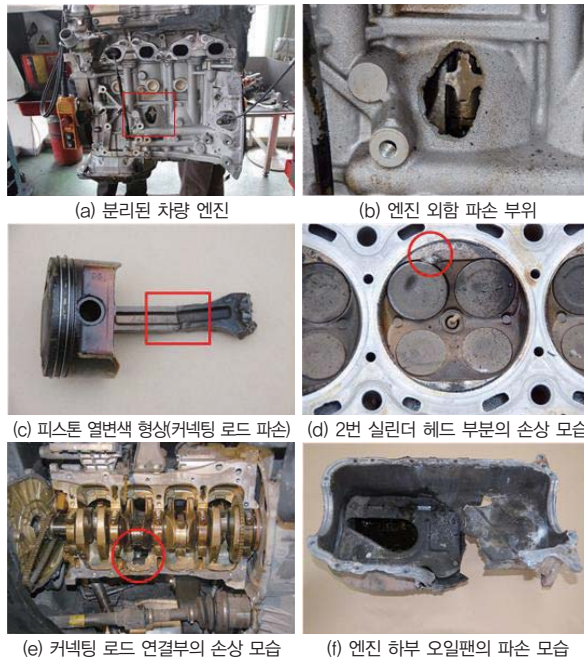
화재가 발생한 차량의 연소형상은 [그림 4]와 같이 외관상으로 볼 때 조수석 전면부 일부가 국부적으로 연소된 상태로 조수석 전면부 유리창이 파손된 특징을 나타내고 있으며, 차량 측면 및 후면 부위를 연소되지 않은 상태를 나타내고 있다. 엔진룸 내부의 연소형상은 차량 외부 중, 국부적으로 연소된 조수석 전면부만이 일부 연소된 상태로 동 부위는 연소가스 배출을 위한 배기매니폴드가 설치된 부위이고, 차량 엔진룸 내부에서 발화와 관련된 지을 만한 전기적 특이점 등은 식별되지 않는 상태이다.



[그림 4] 화재가 발생한 차량의 연소형상

나. 엔진에 대한 검사

화재가 발생한 차량은 정상 운행 도중, 속도계 및 RPM 게이지 등이 갑자기 떨어지면서 차량 전면 엔진룸에서 연기가 발생하였다는 상황이고, 화재를 인지한 이후에는 차량 조작 및 운행이 불가능한 상태가 되었다고 한다. 차량 운행 과정에서 차량 운행이 불가능 상태가 된 점을 고려할 경우, 엔진 계통에서 문제가 발생되었다는 것을 추론해 볼 수 있으며, 엔진계통에 대한 결함 여부를 확인하기 위하여 엔진에 대한 분해 검사를 실시하였다.



[그림 5] 엔진 외함 및 내부 구성부품의 손상 형태

[그림 5]와 같이 차량에서 엔진을 분리한 상태엔진 후면부 외함이 일부 파손 천공된 상태가 식별되고, 엔진 하부의 오일팬 및 커넥팅 로드 접속부가 파손된 상태이었으며, 2번 피스톤이 심하게 열변색된 상태이고, 커넥팅 로드는 중간 부위가 기계적으로 파손된 상태이었다.

다. 발화원인에 대한 검토

화재가 발생한 차량은 LP가스를 연료로 사용하고, LPI 방식으로 연료가 공급되는 형태이며, 상업용 렌탈 차량이라는 특징이 있다. 렌탈 차량의 공통적인 특징은 차량 관리가 개인 소유 차량에 비해 상대적으로 허술하다는 특징이 있으며, 파손된 2번 피스톤의 열변색 형상을 고려할 경우 차량 구동 과정에서 원활한 윤활이 이루어지지 못한 것으로 추정된다. 원활한 윤활이 이루어지지 못하는 경우 피스톤과 실린더 벽면의 마찰에 의해 피스톤 및 이에 연결된 기계 금속 부품이 손상될 수 있다. 화재가 발생한 차량의 경우 2번 피스톤에 지속적으로 마찰력이 가해지면서 최종적으로 동 피스톤에 연결된 커넥팅 로드가 파손되고, 파손된 커넥팅 로드가 엔진 외함 및 하부의 오일팬을 때려 파손시키는 과정에서 고온의 연소 가스 등이 누출되어 화재로 이어진 것으로 추정된다.

5. 엔진계통 파손에 의한 차량화재의 특징

엔진계통의 파손 및 결함에 의한 차량 화재의 경우, 차량이 운행되고 있었거나 공회전 상태 등과 같이 차량에 대한 조작이 이루어지고 있었던 특징이 있다. 또한 엔진룸 주변을 중심으로 연소 확대되고 연소 지속 시간에 따라 국부적인 연소로 그치기도 하며, 차량 전 반으로 연소 확대되는 특징도 나타난다. 따라서 차량이 운행 도중 화재가 발생하는 경우에는 반드시 엔진룸에 대한 검사, 엔진 내부 실린더 및 피스톤에 대한 검사, 엔진 외함 및 하부 오일팬에 대한 검사를 반드시 수행하여야 한다. ㉞