

차량 화재 원인별 조사 방법

국립과학수사연구소 김진표 박남규 김윤희

1. 차량화재의 연도별·원인별 발생현황

국민 생활경제의 발전과 더불어 2002년말 등록차량은 총1,300만대이고, 이중 승용차는 600만대로서 차량 보유대수가 급속히 증가하는 상태이다. 이에 따라 차량화재의 발생 빈도나 전체화재에 대한 점유율이 계속적으로 증가되는 상태로서, 차량화재의 원인 감정에 대한 기술적, 사회적 요구는 날로 증가하고 있다.

차량화재는 재산적 가치가 크지 않은 차량 자체의 화재에 국한되는 것만 아니라 방화 등 범죄행위나 가옥으로 확대피해, 주차시설의 재해, 화재로 인한 사망에 이르기까지 그 피해의 정도가 확대될 수 있으며, 보다 철저한 확인 규명이 요구되고 있는 실정이다.

행정자치부 통계연감에 의하면 차량화재는 매년 평균 약5.8%의 증가를 보이고 있으며, 2002년도 한해 차량화재는 약6,000건, 약100명의 사망자를 발생시켰다. 이는 전체 화재의 약16%를 점유하는 상태로서 주택화재에 이어 2순위를 위치를 점유하고 있다. 표1은 최근 10년간 교통사고의 연도별, 원인별 발생현황에 대한 통계자료이다.

표1. 차량화재 통계

| 구분 | 계 | 전기 | 방화 | 담배 | 불장난 | 유류 | 가스 |
|------|-------|-------|-------|-----|-----|----|----|
| 2001 | 5,973 | 1,804 | 841 | 546 | 91 | 42 | 31 |
| 2000 | 5,871 | 1,648 | 807 | 536 | 139 | 45 | 63 |
| 1999 | 5,487 | 1,400 | 859 | 479 | 144 | 44 | 55 |
| 1998 | 5,377 | 1,269 | 1,132 | 484 | 161 | 63 | 51 |
| 1997 | 5,606 | 1,149 | 1,016 | 621 | 187 | 70 | 38 |
| 1996 | 5,431 | 1,291 | 1,046 | 562 | 206 | 82 | 29 |
| 1995 | 4,485 | 1,297 | 925 | 404 | 182 | 61 | 20 |
| 1994 | 3,837 | 1,101 | 798 | 355 | 129 | 89 | 22 |
| 1993 | 3,179 | 852 | 787 | 292 | 162 | 61 | 13 |
| 1992 | 2,967 | 796 | 803 | 248 | 148 | 51 | 7 |

차량은 주로 개방된 공간에 존치되므로, 사회적 불만이

나 주차불만을 가진 자가 불특정한 방법에 의해 수시로 발화할 수 있으며, 쉽게 모방할 수 있다는 특수성을 가지고 있다. 따라서 발화원인을 감정하는데 있어서, 방화의 형태와 차량 결함에 의한 화재는 조사방법이 구분되어야 할 것이다. 즉, 동력계통, 전기계통, 연료계통 및 배기계통 등 차량의 구조적 이해와 주연소 지점, 연소확대 방향, 특이점의 식별 능력은 차량화재 조사시 요구되는 필수 요소라 할 수 있을 것이다.

2. 차량화재의 분류 및 특수성

차량화재의 분류는 사용 연료에 따라 휘발유 차량, 경유 차량, LPG 차량, 차량 종류에 따라 승용차, 화물차, 승합차, 버스, 연소 부분에 따라 엔진룸 내부, 실내, 외부, 차량 계통에 따라 기계계통, 전기계통, 연료계통, 배기계통, 발화 유형에 따라 방화, 실화, 결함에 의한 화재로 나눌 수 있다. 이러한 양태적 분류는 실제적인 차량화재의 조사에 있어서는 각 항목이 조합된 종합적인 형태로 기술이 되어야 할 것으로, 예를 든다면 '휘발유를 연료로 사용하는 승용차의 엔진룸 내부에 설치된 연료펌프(연료계통) 내부의 벨로우즈 손상(결함)으로 발화되었다'고 정리가 되어야 할 것이다.

차량화재는 아래와 같은 특수성이 있는 바, 발화원의 조사에 있어서 전제로 하여 일반화재와 구별을 두어야 할 것이다.

첫째, 차량 기구의 복잡성이다. 차량은 동력 기계 계통, 전기 전자 계통, 연료 공급 계통, 배기 계통 등 복잡한 계통과 계통이 유기적으로 연결되고, 연동되는 장치라 할 수 있다. 따라서 계통에 대한 전문적인 지식 없이는 화재 원인의 조사가 불가능한 바, 차량 각 계통의 구조적 이해는 조사에 있어서 필수 불가결한 요소라 할 수 있다.

둘째, 차량은 연료, 시트 등 화재 하중이 높고, 외기에 개방된 상태인 연료 지배형 화재의 특성을 보인다. 따라서 초기에 진화되거나 자연 소화되지 않은 경우를 제외하면 대부분의 가연물이 전소 유실되고, 구조물이 심하게 열변형되어 발화지점 및 발화원인의 검사가 불가능

경우가 많다.

셋째, 차량은 운행 중 상시 진동을 발생하며, 시동 모터 및 예열선 등 대전력 기기의 사용이 빈번하며, 다양한 부착물 및 이의 변·개조가 용이하므로, 이러한 구조적 특수성에 의한 발화원에 상시 노출되어 있다고 볼 수 있다.

넷째, 상술한 바와 같이 차량은 개방된 공간에 존치되는 특수성에 의해 사회적 불만이나 주차 불만을 가진 자가 불특정된 방법으로 방화할 수 있으며, 차량 자체 및 고가 장식품 등이 절도의 대상물이 되고, 절도 행위의 은폐를 목적으로 방화할 수 있다.

3. 차량화재 사례

차량화재를 조사함에 있어서 풍향, 연소흔적, 잔류물 및 전기·기계적 특이점은 공통적으로 검토해야 할 부분이다. 연료배행 화재로 볼 수 있는 차량화재는 풍향과 가연물에 따른 연소흔적으로 발화지점의 판단이 가능한 바, 화재 해석에 있어서 매우 중요한 단서로 작용될 수 있으며, 주연소 부분의 전기·기계적 특이점은 발화원으로 작용되었을 가능성이 높은 바, 주연소 부분의 부품, 구성요소, 연동되는 기구 등에 대하여 정밀하게 검사가 이루어져야 정확한 화인의 추론이 가능할 것이다. 또한 차량 주변에서 발견되는 잔류물은 연소전 지면에 무엇이 있었는지를 확인하여 방화 관련 여부를 판단할 수 있는 중요한 물적 증거인 바, 현장에서 잔류물에 대한 면밀한 검토와 사진 촬영이 조사의 요점이라고 할 수 있다.

또한, 차량화재의 조사에 있어서 쉽게 간과될 수 있으나, 차량 화재 발생 이전의 사고, 수리 이력, 최근에 설치한 부착물 혹은 교체 부품, 차량에 대한 중대한 결함으로 제조사의 리콜 여부, 차량의 개조 여부 및 개조시 순정 부품 사용 여부 등은 발화지점의 축소, 발화의 개연성 여부를 조사하는데 키 포인트가 될 수 있는 부분으로 화재 조사 이전에 꼭 염두해 두어야 할 것이다.

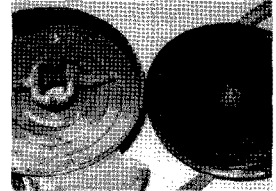
아래의 차량화재 사례는 불법 개조, 구성 부품의 결함 및 방화에 의해 발생한 차량화재의 사례를 정리한 것이다.

가. 연료계통의 개조로 인한 화재

조사 대상 차량은 휘발유 전용차량을 LPG 차량으로 불법 개조한 사례로서, LPG 용기에서 베이퍼라이저까지의 연료계통에서는 가스가 누출되지 않는 상태이나, 베이퍼라이저 이후의 연료계통이 LPG 전용이 아닌 휘발유 전용의 믹서 및 스톱틀을 사용하여, 기화된 LPG가 엔진룸 내부로 누출될 수 있는 구조이다. 가스 화재의 경우는 발화원 자체보다 가스 누출 개소의 검사가 가장 중요한 부분이며, 이러한 경우 점화원은 엔진 및 배기관 매니폴더

등 고온 표면, 전기적인 스파크, 기계적인 스파크, 운전자가 제공할 수 있는 나화 등 여러 형태의 점화원이 존재할 수 있다.

가스가 누출 확산되는 과정에서 미상의 점화원에 의해 착화되면, 가스 누출 개소로 화염이 수렴되며, 누출 가스의 연소열로 누출 개소가 가장 심한 수열 및 변형을 받게 된다.

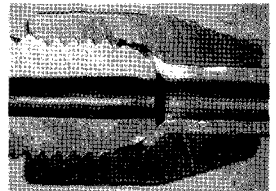


▲그림1. 엔진룸 내부의 연소형태 ▲그림2. 휘발유 전용 믹서

나. LPG 차량의 배관 체결 불량에 의한 화재

조사 대상 차량은 LPG 전용차량으로 엔진룸 내부에 설치된 솔레노이드 밸브 설치 부분을 중심으로 연소 확대되어 엔진룸 내부가 전소된 사례로서, 엔진 상단에 배선된 일부 전선에서 단락흔이 식별되나, 이는 연소 중심과 이격된 상태로서 발화원으로 작용되었을 가능성보다는 연소확대되는 과정에서 절연피복이 소실되면서 단락흔이 발생되었을 가능성이 있다.

연소의 중심에 설치된 솔레노이드 밸브의 분해 검사 시, 솔레노이드 밸브 바디의 니플 부분과 열결 볼트간의 체결이 약화된 상태이며, 절단 분해 시, 틈새가 식별되며, 동 틈새에 해당되는 니플의 표면에서 타르 오염 흔적이 발견된 상태로, 체결력 약화로 인한 틈새를 통하여 LPG가 엔진룸 내부로 누출될 수 있는 구조이다. 자동차는 운행 중 상시 진동을 발생하는 바, 진동에 의한 조임 부분의 풀림이나 체결력이 약화될 수 있으며, 소비자보호원의 통계자료에 의한면 가스 전용차량의 경우 약 18%, 불법 개조차량의 경우 약40%가 가스가 누출된다고 하는 바, 가스차량의 화재 조사 시, 이러한 점을 필히 염두해 두어야 할 것이다.



▲그림1. 엔진룸 내부의 연소형태 ▲그림2. 니플과 볼트 사이의 틈새

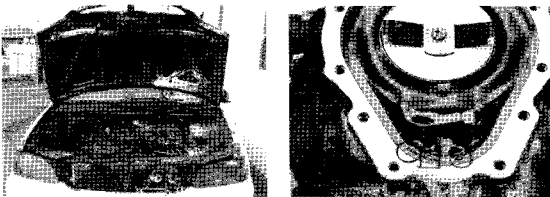
다. LPG 차량의 베이퍼라이저 결함에 의한 화재

LPG 차량은 베이퍼라이저를 통하여 액상의 LPG를 기

상의 LPG로 상변화시킨다. 베이퍼라이저는 1차실, 2차실로 구분되며, 1차실은 다이어프램, 밸브, 스프링 및 대기압과의 상호작용에 의해 용기의 직압을 0.3kgf/cm²로 감압하며, 2차실은 거의 대기압 수준으로 감압하여 믹서측에 LPG를 공급한다.

이러한 구성요소와 동작 중, 1차실의 다이어프램이 파손되면, 용기의 직압이 믹서측으로 가해질 수 있으며, 과압의 LPG가 믹서 이음매 혹은 필터 부분으로 역류가 가능하며, 엔진룸 내부로 LPG가 누출될 수 있다.

조사 대상 차량은 LPG 전용 차량으로 베이퍼라이저 설치 부분을 중심으로 연소확대되고, 베이퍼라이저 분해 검사 시, 1차실의 다이어프램 중, 밸브와 접촉되는 부분이 파손된 상태였으며, 1차실 커버 부분 중, 다이어프램 파손 부분과 접촉된 부분에서 타르의 오염흔적이 발견되었다. 동 파손 부분은 밸브의 반복 작동에 따라 피로를 용이하게 받을 수 있는 부분으로 반복 작동에 의한 피로 파단으로 볼 수 있다.

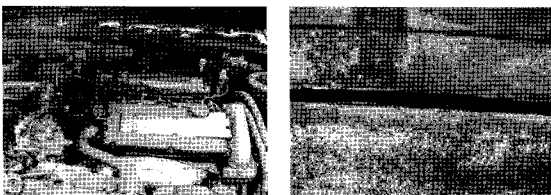


▲그림1. 엔진룸 내부의 연소형태 ▲그림2. 다이어프램 손상 부분

라. 솔레노이드 밸브 결합에 의한 화재

솔레노이드 밸브는 밸브부와 필터부가 일체형으로 구성되어 있으며, 연료 통로를 개폐하는 역할을 하여 용기측의 연료를 베이퍼라이저로 공급 혹은 차단한다. 가스 전용 차량에는 솔레노이드 밸브 2점이 베이퍼라이저 전단에 부착되어 기상 및 액상의 LP 가스를 공급, 차단하고, 액상의 가스가 기상 배관으로 역류하지 않도록 체크 밸브가 부착되어 있다.

냉각수의 온도가 15℃ 이상 혹은 이하 여부에 따라, 기상 및 액상 솔레노이드 밸브가 개폐되는 제어를 행한다. 솔레노이드 밸브 입구 부분에 적색 페인트가 도색된 부분이 액상 솔레노이드 밸브이며, 용기측에 연결된 긴급 차단 밸브도 솔레노이드 밸브 구조이다.

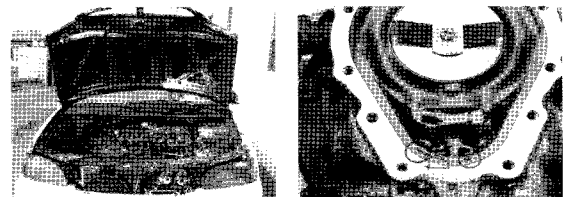


▲그림 1. 엔진룸 내부의 연소형태 ▲그림 2. 필터 바디측의 틈새

조사 대상 차량은 LPG 전용 차량으로 솔레노이드 밸브의 바디 부분과 필터 커버 부분의 가공 불량으로 틈새가 형성되어 완전 밀폐되지 않은 구조로서, 0링 표면에서 접촉 밀폐된 부분과 접촉되지 않은 부분이 식별된다.

마. 단자간 접촉 불량에 의한 화재

전기적인 발열형상 중의 하나인 불완전 접촉에 의한 발열은 통류 면적의 감소, 간헐적인 접촉과 분리, 아산화동 증식 등 다양한 원인으로 구분될 수 있을 것이며, 전기적인 원인에 의한 발화원으로서 대단히 높은 점유율을 차지하고 있다.



▲그림1. 엔진룸 내부의 연소형태 ▲그림2. 퓨즈 링크

조사 대상 차량은 엔진룸 내부 배터리에 인접하여 설치된 퓨즈 링크 부분을 중심으로 연소 확대된 형상이며, 퓨즈 링크 중, 바디에 접속된 단자가 인접 단자와는 달리 180도 회전되고, 좌측으로 편향된 상태이며, 단자에 압착 결합된 심선 대부분이 발열에 의해 용융 절단된 상태로서, 이 경우 단자와 심선은 회전 및 편향에 의해 인장력을 받아 심선이 절단 혹은 분리될 수 있으며, 통류 면적의 감소나 접촉 분리 시 발생한 아아크에 의해 발열될 수 있는 상태이다.

특히 퓨즈 링크의 부하는 대부분 얼터네이터 등 큰 전류량을 요구하는 대전력 기기로서, 불완전 접촉이 발생하는 경우, 발열 및 발화 메카니즘은 타 기기에 비하여 훨씬 크고, 급속하게 진행될 수 있다.

바. 시동 모터의 결합에 의한 화재.

차량의 시동 모터는 강한 기동 토크를 얻기 위해 직류 직권 모터를 사용하며, 이 모터는 전류 용량이 매우 크고, 또한 기동시에는 정격전류의 6~12배 이상의 돌입 전류가 흐른다.

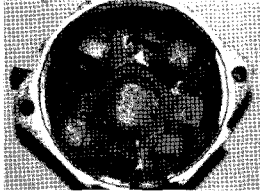
이 경우 과도한 전류에 의해 시동 모터의 정류자편과 브러시간 전극이 변형될 수 있으며, 또한 전극의 변형으로 인한 전류 집중에 의해 정류자편과 브러시가 융착될 수 있다.

조사 차량은 화물차로서, 엔진룸 내부의 시동 모터 설치 부분을 중심으로 연소 확대된 상태이며, 시동 모터에 부가 설치된 릴레이 단자에서 전기적 발열에 의한 용흔

이 발견되며, 시동 모터의 분해 검사 시, 브러시 및 정류자편이 전기적인 발열에 의해 용융된 상태이며, 용착된 상태에서 회전력에 의해 회전 방향으로 정류자편과 브러시가 파손되었다.



▲그림1. 정류자편의 용흔



▲그림2. 브러시의 파손형태

사. 연료펌프 결합에 의한 화재

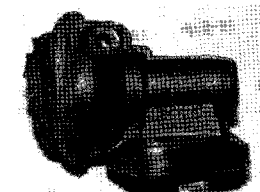
대부분 차량의 연료펌프는 전차 펌프를 사용하여 작동 성능이 보증될 수 있으나, 일부 구형의 차량에서 사용되는 완전 기계식 펌프의 경우 일부 작동상 결함을 일으킬 수 있으며, 동 사례 또한 기계식 펌프의 결함으로 인해 발생한 차량화재이다.

조사 대상 차량은 휘발유 전용차량으로 연료펌프가 편심 캠에 연결되어 편심 캠의 회전과 레버의 움직임에 따라 펌프 내부의 벨로우즈를 팽창 압축시켜 연료를 공급하는 구조이다.

이 경우 벨로우즈가 과압이나 피로에 의해 파손되면, 숨구멍을 통하여 연료가 외부로 토출될 수 있으며, 토출 방향이 엔진 표면인 바, 고온 표면에 의해 충분히 점화될 수 있는 조건을 가지고 있다. 동 사례의 경우 제조사에서 동 차량의 연료펌프가 결함이 있다고 하여 리콜된 경우이다.



▲그림1. 연료펌프의 설치 위치



▲그림2. 연료 펌프 숨구멍

아. 릴레이 결합에 의한 화재

차량은 운행 중 상시 진동을 발생하므로, 배선이 설치 위치에서 이탈되었다거나 혹은 구조물과 접촉되는 경우, 진동 마찰에 의해 절연피복이 손상될 수 있으며, 절연과 피 과정에서 발생한 불꽃 및 발열에 의해 발화될 수 있다.

조사 대상 차량은 경유를 사용하는 트럭으로 운전석 하단의 엔진룸 내부에서 V패턴의 연소형상과 동 부분에 배선된 예열선과 가속기 와이어간에 단락흔이 발견되었다.

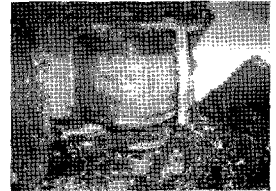
발화원 자체는 예열선과 가속기 와이어간의 절연 파괴에 의한 단락으로 볼 수 있을 것이나, 예열선은 시동시에만 전원이 인가되어야 하는 바, 동 예열선을 지배하는 릴레이의 분해 검사 시, 릴레이 접점의 용착으로 인하여 시동 외의 상태에서도 전원이 공급된 것으로, 이는 릴레이 결합에 의한 발화의 예로 볼 수 있다.

동작전류가 큰 기구의 릴레이 접점은 접촉 분리 시 발생한 아아크에 의해 접점이 변형 용착되어 오동작을 일으킬 수 있다.

이러한 릴레이의 특성을 알아보기 위해서는 서비스센터나 회사를 통하여 동 릴레이의 교환 주기, 교환 원인을 참고하는 것이 바람직한 자료 수집 방법이라 하겠다.



▲그림1. 엔진룸 내부의 연소형태



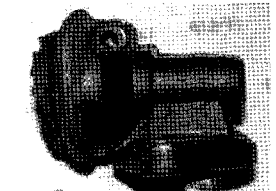
▲그림2. 예열선용 릴레이

자. 차량 방화

차량은 개방된 공간에 존치되는 특수성에 의해 사회적 불만이나 주차 불만을 가진 자가 불특정한 방법으로 방화할 수 있으며, 차량 자체 및 고가 장식품 등이 절도의 대상물이 되고, 절도 행위의 은폐를 목적으로 방화할 수 있다.



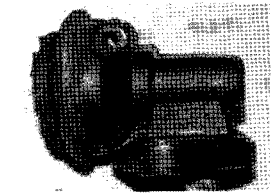
▲그림1. 차량 좌측면의 연소형태



▲그림2. 차량 우측면의 연소형태



▲그림3. 운전석 시트의 화본



▲그림4. 기기의 절단 형태

따라서, 차량 방화의 조사를 위해서는 차량의 연소형상, 주변의 소각물, 주차 상태, 주차 경과 시간, 도어락의 개폐여부, 차량 내부의 이물질, 도난 물품 여부 등에 대하여 종합적인 조사가 이루어져야 할 것이다.

조사 차량(사진 표기 1호,2호)은 엔진룸 및 실내는 연소되지 않은 상태이고, 전면 좌측, 우측의 바퀴를 중심으로 각각 독립적으로 연소확대된 형상이 보인다. 독립적인 연소확대 형상은 방화에서 나타나는 전형적인 연소형상이다.

조사 차량(사진 표기 3호,4호)은 엔진룸은 연소되지 않은 상태이며, 운전석 시트 상단에서 화분의 연소잔해가 식별되고, 인스트루먼트 패널에 부착된 기기의 배선에 절단었으며, 네비게이터의 연소잔해가 식별되지 않는 상태였다.

이 경우는 화분을 사용하여 창문을 파손하고, 고가 부착물인 네비게이터를 절도한 후, 이의 늪폐를 목적으로 방화한 사례이다.

4. 결언

이상, 차량화재의 감정 사례를 통하여, 차량화재의 특수성 및 조사 시 유의 사항을 기술하였다. 서두에서 설명한 바와 같이, 대부분의 차량화재는 가연물이 전소 유실되고, 구조물이 심하게 열변형되어 발화지점 및 발화원인의 검사가 불가능한 경우가 많으며, 소개한 부분은 그 중 검사가 가능한 대상에 대한 사례일 뿐이다.

차량화재 조사 시, 전문적이고 기술적인 배경, 차량화재의 특수성 및 유의 사항에 의거하여 조사가 이루어져야만 정확한 결과와 동 조사 분야의 발전이 있을 것이라고 생각한다.

협소한 부분에서 차량화재의 조사 기법을 소개하였으며, 추후 차량화재의 감정 및 사고 처리에 도움이 되었으면 한다.