

차량 배기 계통의 과열에 의한 화재

국립과학수사연구소 김진표

1. 서론

2002년도 우리나라에서 발생한 차량화재는 약6000건으로 전체 화재 건수의 약18%를 차지하고 있으며, 차량 보유대수가 급속히 증가함에 따라 지속적으로 차량화재의 발생률이 증가하는 추세이다.

차량화재는 차량 자체의 화재에 국한되는 것만 아니라 방화 등 범죄행위나, 가옥으로 피해확대, 주차시설의 재해, 화재로 인한 사망에 이르기까지 그 피해의 정도가 확대될 수 있으며, 이로 인하여 차량화재의 원인 감정에 대한 기술적, 사회적인 요구는 날로 증가하고 있는 실정이다.

차량은 동력기구, 전기제어기구, 연료공급기구 및 배기계통 등 다양한 기구가 유기적으로 결합되어 있으며, 운행 중 상시 진동을 발생하고, 대전력 기기의 사용 및 변·개조가 용이하다는 구조적인 특이점이 있고, 또한 화재발생 시, 화재 하중이 높은 연료 지베형 화재로 전이되는 바, 최초 발화지점 및 발화원에 대한 검사가 매우 어려운 경우가 많다.

본 연구 및 사례에서는 차량화재 중, 배기 계통 과열에 의해 발생한 차량화재의 객관화된 구별법을 제시하여, 차량 화재 원인 조사에 활용함을 목적으로 한다.

2. 관계이론

2.1 '과부하 혹은 가혹운전'에 의한 차량 화재

차량화재는 화재하중, 연소특성 및 계통별 화재 발생 원인 등 다수의 변수가 유기적으로 결합되어 불특정한 연소형태를 발현시킬 수 있으며, 발화에 기여한 부분의 소손 정도에 따라 화재 원인의 해석상 가능 여부와 난이도가 결정된다고 할 것이다. 즉, LPG 연료계통의 결합, 전기계통의 결합 및 기계계통

의 결합 등은 연소 이후에도 그 특이점이 남아 있는 경우가 대부분이므로 발화원에 대한 해석이 가능한 경우가 많고, 가솔린의 연료계통 등은 연소 이후에 그 특이점이 남아 있지 않으므로 해석이 불가능하게 된다.

차량 배기 계통의 과열은 점화 계통의 고장난 경우, 혼합 가스가 얇은 경우, 엔진이 과냉각된 경우 등의 미점화(misfire)시에 발생하는 경우가 있으며, 또한 가혹운전에 의해 행정이 중첩되는 경우, 혼합 가스가 진한 경우 등 불완전 연소시에도 발생한다. 즉, 혼합 가스가 미연소된 상태에서 배출되고, 배기 계통 및 촉매 부분에서 재연소가 일어나면서 배기 계통의 과열이 발생한다.

차량 배기 계통 과열에 의한 화재 중, 차량 실내에 운전자가 존재하는 상태에서 화재가 발생하는 경우는 운전자가 수면 중 무의식적으로 가속기 페달을 밟는 행위인 '과부하 혹은 가혹운전'에 의해 배기 계통이 과열되어 발생할 수 있으며, 이에 의한 화재의 경우 다음과 같은 특이점이 차량에 남아 있다.

- ① 열경계층 교란에 의한 배기관 변곡 부근의 국부적인 연소흔적
- ② 촉매 매쉬 백금의 용융 변형 흔적
- ③ 피스톤링 및 실린더면의 마찰흔적
- ④ 실린더 내부 및 밸브의 불완전 연소흔적
- ⑤ 그 외 기계적인 파손흔적

따라서, 상기 조건과 같이 화재 차량 실내에 운전자가 존재한 경우 '과부하 혹은 가혹운전'에 의해 차량 배기 계통이 과열되어 화재가 발생되었음을 입증하기 위하여 상기 ①~⑤항의 특이점은 매우 합리적이고 중요한 구별 수단이라고 할 수 있다.

22 차량 배기 계통의 온도 측정.

차량 배기 계통은 그림 1에 표현된 바와 같이, 배기 매니폴더 → 프론트 파이프 → 촉매 → 온도센서 → 센터 파이프 → 머플러 → 테일 파이프의 순서로 구성된다.

4기통 2000cc 차량의 경우, 각 부분에 대한 공회전 및 주행시의 온도는 표1에 표시한 바와 같으며, 배기 계통 중, 가장 높은 온도 특성을 보이는 부분은 배기 매니폴더 부분 및 촉매 내부이다.

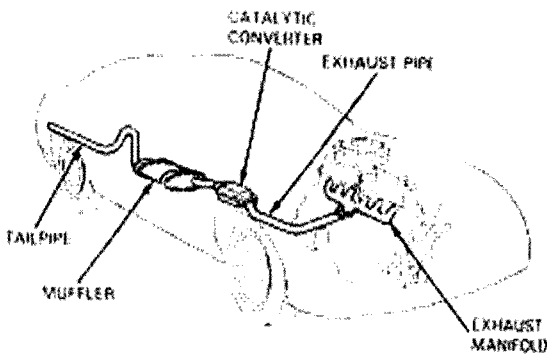


그림 1. 차량 배기 계통

표 1. 차량 배기 계통 각 부분의 온도

측정 부분	운전조건	공회전(idle)	주행
배기 매니폴더 출구		338°C	690°C
프론트 파이프		145°C	225°C
촉매 하단면		111°C	101°C
촉매 내부(온도 센서)		398°C	695°C
테일 파이프		105°C	413°C

촉매는 배기 가스에 포함되어 있는 유해물질인 CO, HC 및 NOX를 CO₂, H₂O 및 N₂로 전환시키는 장치로서, 그림 2 및 3에 표시한 바와 같이 스틸 하우징 내부에 백금 및 로듐이 코팅된 세라믹 촉매 본체로 구성되어 있다.

촉매는 배기 계통 중, 가장 높은 온도를 나타내는 부분으로 4기통이 모두 정상적으로 연소되는 상태에서 공회전시에 약 400°C, 40km/h시에 약 400~500°C, 80km/h시에 약 600~700°C의 온도 특성을 보이며, 공회전 상태에서 1기통 misfire를 유발시킨 경우 약 800°C, 2기통 misfire를 유발시킨 경우 약 1,000°C의 온도가 측정되었다.

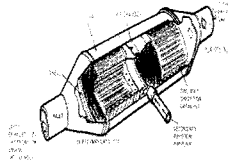


그림 2. 촉매의 구조

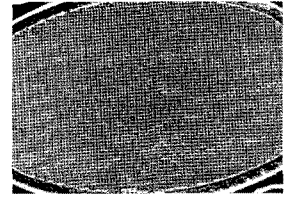


그림 3. 촉매 매쉬

3. misfire/가속운전에 의한 차량 발화 실험

3.1 misfire에 의한 차량 발화 실험

그림 4~5호와 같이 정상적인 4기통 엔진 중, 1기통으로 배선된 점화 트랜스 2차측 배선을 절단하여, 인위적으로 1기통 misfire를 유도하고, 가장 높은 온도 특성을 보이는 촉매 부근에 가연물을 접촉시킨 상태에서 차량을 공회전시킨 후, 발화시점을 관찰하였다.

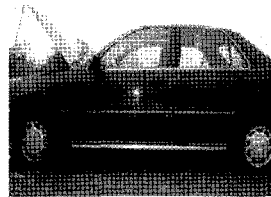


그림 4. 차량 외관

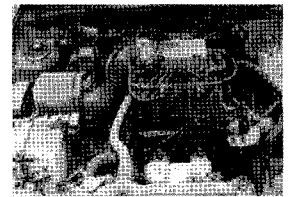


그림 5. 1기통 misfire 유발

그림 6~7호에 나타난 바와 같이, 4,000rpm에서 6분 경과 후, 발연과정을 거치면서 발화되었다.

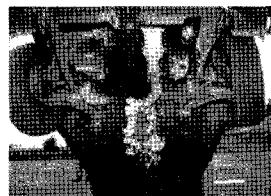


그림 6. 촉매 부근의 가연물



그림 7. 6분 경과 후 발화

3.2 가속운전에 의한 차량 발화 실험

차량 실내에 운전자가 존재하는 상태에서 화재가 발생하는 경우는 운전자가 수면 중 무의식적으로 가속기 페달을 밟는 행위인 '과부하 가속운전'에 의해 배기계통이 과열될 수 있으며, 이를 재현하기 위하여 엔진을 6,000rpm으로 설정한 상태에서 지속적으로 구동시켰을 경우, 약 20분 경과 후, 엔진이 불안정한 상태를 보이며, 배기 배관, 촉매, 소음기 부분이 적열되고, 이후 테일 파이프를 통하여 화염이 토출되고, 토출된 화염에 의해 후면 범퍼에 착화되는 과정이 진행되었다. 그림 8~11에

동 과정의 진행상태가 자세히 나타나 있다.

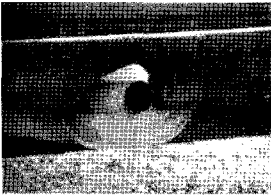


그림 8. 머플러의 적열



그림 9. 화염의 토출



그림 10. 후면 범퍼에 착화

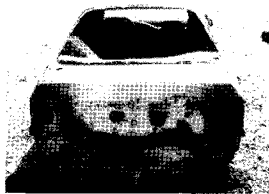


그림 11. 연소 후의 수열형태

4. 가혹운전에 의한 발화 사례

감정 사례는 전면 엔진룸 및 후면 트렁크 부분이 각각 독립적으로 연소된 상태에서, 외관상 거의 완벽한 방화 연소 특성을 갖추고 있는 바, 방화로 오관을 할 여지가 매우 높았던 사례라 할 수 있다.

하지만, 차량 실내에 운전자가 존재하고, 목격자에 의해 구조가 행해졌다는 수사 자료를 참고한 후, 세밀히 검사한 결과, 그림 12~17에 나타난 바와 같이 열경계층 교란에 의한 배기관 변곡 부근의 국부적인 연소흔적, 피스톤링 및 실린더면의 마찰흔적, 실린더 내부 및 밸브의 불완전 연소흔적, 피스톤 및 커넥팅 로드와 같은 기계적인 파손흔적 등 '과부하 혹은 가혹운전'에 의해 배기 계통이 과열되어 발화된 것을 입증할 합리적이고 중요한 특이점이 식별되어, 발화원인을 명료하게 해석하였다.



그림 12. 차량 전면의 연소형태



그림 13. 차량 후면의 연소형태



그림 14. 변곡 부분의 연소형태



그림 15. 실린더 내측의 마모형태

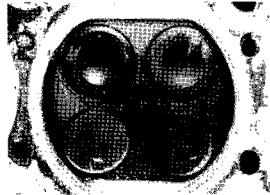


그림 16. 불완전 연소 흔적

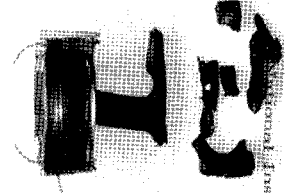


그림 17. 커넥팅 로드와 파손형태

5. 결론

차량화재는 연소특성 및 발화에 기여한 부분의 소손 정도에 따라 화재 원인의 해석상 가능 여부와 난이도가 결정되는 바, 발화 관련 특이점의 현출 능력은 차량화재 원인 해석에 있어서 가능 여부 및 난이도를 결정하는 가장 중요한 요소라 할 수 있을 것이다.

'과부하 혹은 가혹운전'에 의해 배기 계통이 과열되어 발생하는 화재의 경우 열경계층 교란에 의한 배기관 변곡 부근의 국부적인 연소흔적, 촉매 매쉬 백금의 용융 변형 흔적, 피스톤링 및 실린더면의 마찰흔적, 실린더 내부 및 밸브의 불완전 연소흔적, 그 외 기계적인 파손흔적 등의 특이점이 발현되는 바, 조사 대상 차량에서 동 특이점을 현출할 수 있다면, 용이하게 발화원인을 판단할 수 있을 것이다.

■ 참고문헌

1. '차량에서의 자체 발화 연구', 국립과학수사연구소보, 2004
2. '차량의 배기계통 과열에 의한 화재', 한국법과학회 제9호 춘계학술대회 논문집, 2004
3. '자동차공학과정비', 안정기와 2명, 동신출판사, 2000
4. '현장실무자를 위한 화재원인 조사기법', 화재조사팀편저, 2003
4. '火災調査技術教本', 東京消防廳火災調査研究会編著, 1987.