

자동차화재감식에 관한 연구

강성모 · 안병준*

동국대학교 대학원 안전공학과 · *동국대학교 안전공학과

I. 서 론

자동차에서 발생하는 화재는 우리나라 전체 화재사고의 19.3%로서 주택·아파트의 화재(27%) 다음으로 많은 데다가¹⁾ 자동차화재의 발생건수도 1993년 3179건에서 2003년 6049건으로²⁾ 최근 10년 동안 년 평균 6.5%의 증가율을 보이고 있다. 자동차화재가 인명과 재산상의 손실로 이어진다는 점에서 최근 재해에 관심이 높아지고 있는 추세에 비추어 예방기법의 개발은 매우 미흡한 실정이고, 자동차화재의 원인을 찾아내기 위한 감식기법의 자료나 개발이 부족하므로 본 연구에서는 발생가능요인들 및 집중발생원인들을 자동차관리 및 정비측면과 관련시켜 찾아 내므로써 자동차화재의 예방에 기여하고자 한다.

II. 연구방법

본 연구는 연구자가 수행한 차량화재 관련 교통사고사건과 최근 대구지방경찰청의 차량화재 재현실험자료 및 기타 차량화재관련자료를 토대로 차량화재의 유형에 따른 자동차화재발생의 3요소 중 산소의 공급을 제외한 발화원과 가연물에 초점을 맞추어 연소특성을 검토하여 자동차구조상의 가연물과 발화원의 빈발항목과 착안사항을 제시하고, 아울러 자동차의 정비와 관리상의 유의점도 제안하였다.

III. 이 론

1. 화재의 정의

화재란 불로 인한 급격한 연소반응이다. 연소란 물질이 빛과 열을 내면서 산화반응하는 것으로 발화원(열 또는 불꽃)과 가연물(연료를 포함하는 가연성 물질) 및 산소의 공급을 3요소로 하고 있다.

1) 발화원 : 열과 불꽃으로 크기(온도, 불꽃의 세기)는 가연물질의 착화·인화점 등 물리적특성에 의해 결정된다.

2) 가연물 : 연소반응을 일으킬 수 있는 물질로서 종이, 나무, 플라스틱 등의 고체가연물과 가솔린, 경유, 알콜, 윤활유 등의 액체가연물, 그리고 액화천연가스(LNG), 액화

석유가스(LPG) 등의 기체가연물로 구분할 수 있다.

3) 산소(oxygen) : 상온·상압에서 무색·무미·무취한 기체로서 가벼운 비활성기체를 제외한 모든 원소와 화합물을 만들고 많은 원소와 직접 반응한다. 가연물의 특성에 따라 연소반응을 일으킬 수 있는 산소량이 결정된다. 연소에 필요한 요구산소량이 부족하면 가연물과 발화원이 존재하더라도 연소반응은 일어나지 않으며 연소된 상태에서 계속적인 산소공급이 이루어지지 않으면 연소반응은 자연 소멸된다.

2. 자동차화재

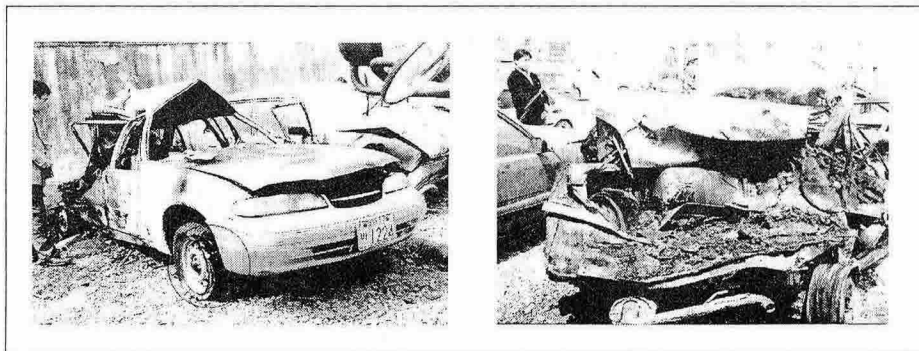
자동차는 내연기관과 연료를 싣고 주행하기 때문에 연료시스템의 유류가 직접적인 가연물이 되는 경우가 많고 전기·점화시스템에 의해 열(불꽃)발생요인이 크고 더욱이 산소(공기)를 충분히 공급받을 수 있기 때문에 급속히 연소가 확대 진행되는 특징이 있다. 특히 충돌사고에 의해 누출된 연료는 가연물이 되어 화재발생이 크게 높아진다.

IV. 자동차화재의 유형과 특징

자동차화재는 크게 차량구조적요인(충돌사고의 동반과 차량결함 또는 차량관리부실)과 방화(차량외부와 차량내부)로 구분할 수 있다.

1. 충돌사고를 동반한 차량화재

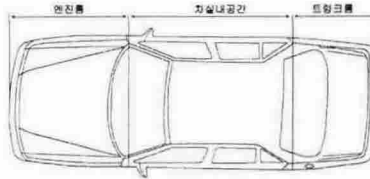
화재손상은 차체의 도료페인트를 태우면서 변형을 유발시킬 수 있다.³⁾ 따라서 화재손상과 충돌손상의 구분후에 가연물(유류)과 발화원의 공급경로를 상호대조해 보는 작업이 필요하다. 자동차가 상대차량 또는 장애물과 충돌하면 차체의 찌그러짐에 의해 엔진 내부의 윤활유나 작동유 또는 연료시스템의 인화성연료(가솔린, 경유 등)가 누출된다. 여기에 파열된 전조등 또는 등화장치, 배선의 짓눌림 또는 배선피복의 손상에 의한 단락(short), 배터리의 접지불량, 점화전류의 누출 등에 의해 열 또는 불꽃이 가연물과 일치하게 되면 급격한 연소반응을 일으키게 된다. 【그림1】은 충돌사고에 의해 등화장치에서 일어난 스파크에 의해 발화한 후 앞차(피추돌차)의 뒤트렁크에 확산된 사고이다.



【그림1】 충돌사고를 동반한 화재(충돌에 의해 LPG연료탱크파손)

2. 차량결함에 의한 화재

차량결함에 의한 화재는 주차·공회전·주행 등 다양한 운전조건과 제작차체의 결함, 정비불량, 운전관리상의 부주의 등 다양한 요인이 단독 또는 복합적으로 작용하여 나타난다. 차량결함에 의한 화재는 발화지점의 특징과 연소경로의 추정이 필요하다.⁴⁾

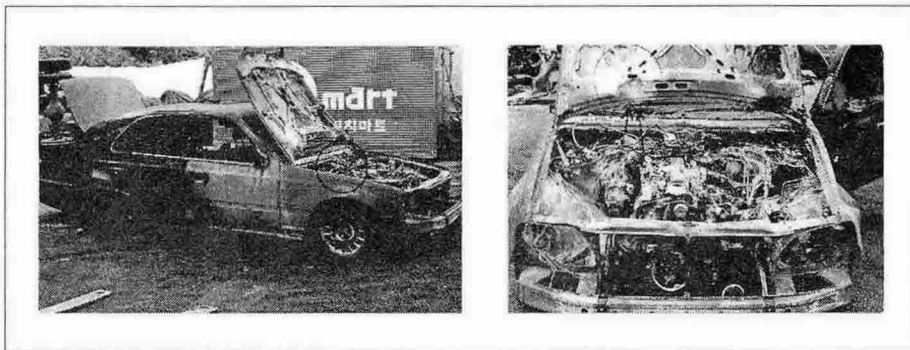


【그림2】 발화장소의 특징을 위한 자동차의 차체구분

자동차의 차체구조는 크게 엔진룸, 차실내, 트렁크로 구분할 수 있으므로 먼저 발화지점을 선정한 후 지형에 의한 공기의 유동나 가연물의 분포 및 연소정도, 수열온도에 따른 차체의 변색흔을 고려한 연소경로를 통해 발화지점의 범위를 좁히는 작업이 필요하다. 동시에 발화지점부근에 위치하는 특정구조물 또는 부품 등을 면밀히 관찰함으로써 가연물과 발화원의 특징이 가능하다. 【표1】과 같이 금속은 온도에 따라 색깔이 달라지기 때문에 차체의 변색흔도 급속한 연소가 이루어지는 초기발화부에서 회·백색의 색깔을 띄게 된다. 【그림3】은 주행 중 LPG연료분사장치의 역화(back fire)에 의해 부분전소된 차체모습으로 본네트안쪽 우측부분이 회백색을 띄고 있다.

【표1】 수열온도에 의한 금속의 색변화

온도	230	290	480	590	760	870	980	1200	1320
색깔	황색	홍갈색	연홍색	진홍색	심홍색	분홍색	연황색	백색	회백색

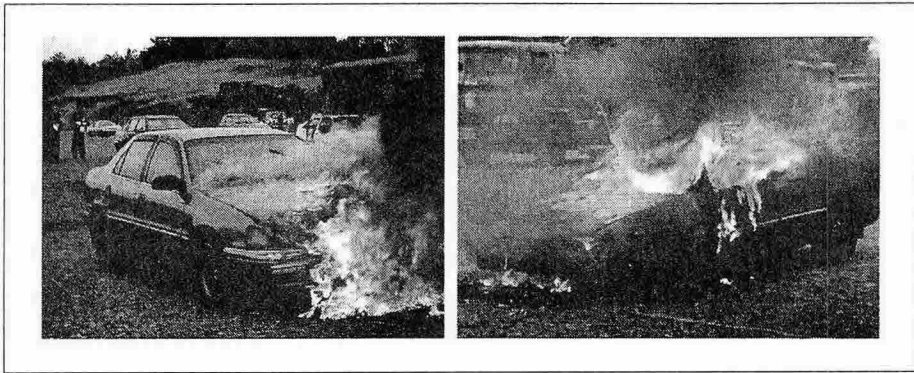


【그림3】 LPG 연료장치의 역화(back fire)에 의한 차량의 부분전소

3. 차량외부방화

차량외부에서 가연물을 이용하여 발화시키는 방화형태로 발화촉진제는 보통 유류가

사용된다. 유류 중 인화점이 높은 경유(등유)는 상온에서 불꽃을 던져도 쉽게 착화되지 않지만 일단 불이 붙으면 급격한 연소반응이 일어나며 휘발성이 좋고 인화점이 낮은 가솔린, 벤젠, 알콜 등의 연료는 인화와 동시에 급격한 연소가 이루어진다. 보통 최초발화부에 심한 수열 변색흔이 나타나며 연소의 이동형태는 풍향(風向)에 의해 결정되는 경우가 많다. 한편 이와같은 방화형태에서는 유류의 양에 따라 다르지만 차량의 바닥 또는 옆부분에 떨어진 연소잔존물과 지면의 토양에 대하여 성분 검출시험을 하면 인화성물질의 개입여부를 판단할 수 있다.²⁾ 또한 가연물로서 유류가 아닌 종이나 섬유 등을 사용할 경우 차량의 바닥이나 주변을 세밀하게 관찰하게 되면 가연물의 흔적을 파악할 수도 있다. 【그림4】는 차체앞부분에서 발화된 차량외부방화의 연소모습이다.



【그림4】 차량외부방화실험⁵⁾

4. 차량내부방화

차량내부에서 가연물을 이용하여 발화시키는 방화형태로 발화촉진제로는 차량외부방화와 마찬가지로 보통 인화성물질인 유류가 사용된다. 차량내부방화에 있어 연소의 진행형태는 인화성물질의 양과 실내 밀폐여부에 따라 크게 달라지게 되는데 실내에 유입된 인화성물질과 산소의 혼합기가 연소한계내에 존재한 상태에서 점화되면 연소반응을 일으키기 시작하며 실내의 밀폐정도에 따라 급격한 압력상승이 일어나 폭발이 일어나기도 한다. 또한 차량실내가 완전히 밀폐된 경우에는 산소의 공급이 원활하지 않기 때문에 비록 인화성연료나 기타 가연성물질에 의해 발화되더라도 화염은 확대되지 않고 자연소화되는 경향을 나타낸다. 따라서 차량내부방화의 경우에는 산소공급을 충분히 유지하기 위해 창문이 내려져 있거나 파손되어 있는 경우가 많다. 차량내부방화에서도 신속하게 연소잔존물에 대한 성분 검출시험을 하면 인화성물질의 개입여부를 판단하는데 도움이 되나 실내의 시트(seat)와 내장재가 완전히 연소된 경우나 실내 소화작업으로 인해 연소잔존물의 위치이동이나 변형·소실 등이 나타나기 때문에 연소형태를 파악하는데 어려움이 있다.^{5.6)} 【그림5】는 차량의 뒷유리파손후 실내뒷좌석에서 발화된 차량내부방화의 연소모습이다.



【그림5】 차량내부방화실험⁵⁾

V. 자동차화재의 감식요소

1. 자동차구조상의 가연물

자동차화재의 가연물은 대부분 기관(engine)의 동력원이 되는 연료(fuel)이다. 자동차의 연료로는 보통 가솔린(gasoline), 경유(diesel), 액화석유가스(LPG) 등이 일반적으로 사용된다. 자동차의 연료 중 특히 가솔린과 LPG는 상온에서 항상 인화점이상으로 존재하기 때문에 불꽃에 의해 쉽게 연소되는 특성이 있다.⁷⁾ 【표2】는 주요 가연성연료의 물리적특성을 보여주고 있다.

【표2】 주요 가연성연료의 물리적특성

구 분	가솔린	경유	LPG
인화점	-20~43	30~60	.
착화점	400℃	250℃	400℃이상
연소한계	1.3~6.0%	.	1.8~9.5%

또한 연료처럼 급속한 연소반응이 나타나지 않지만 이외의 가연물로서 엔진오일 및 기타 작동유(브레이크, 변속기, 파워스티어링 오일 등), 차체의 도장페인트류, 엔진 및 각 주행장치와 연결된 전기배선, 소음방지를 위한 차음재, 실내의 좌석(seat) 및 내장재, 타이어, 범퍼(bumper) 등이 있다. 자동차구조상의 가연물요소를 정리하면 【표3】과 같다.

【표3】 자동차구조상의 가연물

분 류	내 용
연료성분	가솔린, 경유, LPG 등
윤활 및 오일성분	엔진오일, 기어오일, 자동변속기오일, 파워스티어링오일, 브레이크오일, 그리이스 등
차체외장품	차체도료페인트, 범퍼, 몰딩(molding)
차체내장품	배선, 좌석(seat), 도어트림(door trim), 인스트루먼트패널(instrument panel), 흡·차음재(고무 등)

2. 자동차구조상의 발화원

1) 기계적인 열(불꽃)발생 요소

기관(engine)은 연소실 온도가 정상작동시 약 2000℃ 이상 상승하고 기관내부의 피스톤(piston)과 크랭크축(crank shaft) 등이 고속으로 왕복 또는 회전운동하기 때문에 정상적인 윤활작용과 냉각작용이 이루어지지 않으면 과열하게 된다. 따라서 기관과열의 주요인은 윤활장치 또는 냉각장치의 결함에 의해 나타나게 되며, 자동차의 비정상적인 과속·과부하주행에 기인하기도 한다. 특히 엔진의 연소가스가 배출되는 배기통로는 항상 높은 온도로 유지된 상태에서 엔진룸의 내부와 차체의 하단부에 그대로 노출되어 있어 발화원으로서 그 위험성이 높다고 할 수 있으며 기관의 역화(back fire)현상에 의해 불꽃이 직접 엔진룸내부에 발생할 수 있다. 또한 엔진에서 발생한 동력이 바퀴에 전달되는 과정에서 회전체의 베어링 또는 윤활작용의 결함에 의해 마찰열이 증가할 수 있다. 자동차구조상의 기계적인 열(불꽃)발생 요소를 정리하면 【표4】와 같다.

【표4】 자동차구조상의 기계적인 열(불꽃)발생 요소

분 류		점 검 요 소
기관과열	윤활장치불량	오일펌프, 오일누유, 오일여과기, 오일통로막힘여부 등
	냉각장치불량	냉각펌프, 라디에이터, 수온조절기, 냉각팬, 냉각수누유 등
엔진역화(back fire)		점화시스템과 밸브개폐시기의 제어 불량 (※기관연소실의 화염이 흡입계로 역이동하는 현상)
배기통로과열		엔진과열, 과부하 주행 등
동력전달계의 과열		윤활 및 베어링(bearing)의 마모·손상, 조정불량(브레이크의 라이닝 간격), 타이어의 발열 등

2) 전기(점화)적인 열(불꽃)발생 요소

전기적인 열(불꽃)발생요인은 점화계통의 요인과 전기장치의 요인으로 구분할 수 있다. 가솔린과 LPG를 사용하는 자동차는 특성상 불꽃을 통해 연료의 연소가 이루어지기 때문에 이와 같은 불꽃점화기관에서는 반드시 압축된 연료·공기의 혼합기에 고전압의 불꽃을 튀겨주는 별도의 점화장치가 필요하다.⁹⁾ 따라서 이 점화장치의 회로에 절연이 불량하거나 작동결함이 나타나면 주기적인 불꽃이 엔진외부로 누설될 수 있다. 한편 자동차의 모든 전기장치는 배터리(battery)와 발전기(alternator)로부터 전기공급을 받게 되는데 이 때 회로내의 배선에 합선(合線) 또는 단락(短絡), 피복손상 등이 나타나면 불꽃이 발생하게 되고 또한 회로내에 허용전류를 초과하는 과부하가 걸리게 되면 과전류가 흐르면서 배선과열에 의한 단락 또는 피복손상을 동반하게 된다. 자동차구조상의 전기적인 열발생 요소를 정리하면 【표5】와 같다.

【표5】 자동차구조상의 전기적인 열(불꽃)발생 요소

분 류	점 검 요 소
점화계통	점화플러그, 점화케이블, 점화코일, 고전압분배기 등
충전장치 · 시동장치	배터리, 발전기(alternator)의 전압조정기, 시동모타, 점화스위치 등과 구성회로의 단락 · 합선 · 피복손상 등
기타 전기장치	휴즈박스, 각종 등화장치, 제어장치(ECU, TCU), 주행장치, 시거라이터 등과 구성회로의 단락 · 합선 · 피복손상 등

VI. 결론 및 자동차화재예방을 위한 관리대책

자동차는 인화성물질인 연료를 장착한 채 주행하고, 더불어 연료를 실린더내에서 연소시키는 강제적 점화시스템이며, 각종 제어 · 주행장치의 작동을 위한 전기의 생산 · 저장 · 공급회로의 전기배선 때문에 차량전체가 가연물과 발화원이 갖추어진 화재위험에 노출되어 있다. 따라서 차량화재예방을 위한 안전관리대책을 요약하면 아래와 같다.

- 자동차제작사의 철저한 품질관리가 이루어져야 한다.
- 엔진오일, 냉각수, 연료의 누설, 배터리관리 등 일상점검을 생활화한다.
- 연료장치, 점화장치, 엔진냉각 등 차량 전반에 대한 정기점검을 실시한다.
- 인화성물질 또는 가연성물질의 트렁크 · 차량실내에 비치하지 않는다.
- 모든 전기장치의 휴즈는 정격휴즈를 사용해야 한다.
- 연료장치, 전기장치에 대한 불법개조를 하지 말아야 한다.
- 원격시동장치, 경보장치 등의 보조장치를 임의로 장착하지 않는다.
- 차량의 수리 · 정비후에 반드시 이상유무를 점검해야 한다.
- 차량실내 또는 작업 중인 차량주변에서의 흡연을 금지한다.
- 가연성물질(연료 등)이 있는 장소에는 주차를 하지 않는다.(배기열에 의한 발화)
- 차량내부에 소화기를 비치한다.

참고문헌

1. 2003년 전국화재발생현황, 서울소방방재본부, 2004
2. 자동차화재 실태조사 보고서, 한국소비자보호원, 2002
3. James C. Collins, Highway Collision Analysis, 1974, p207~212
4. 林洋, 自動車事故鑑定工學, 技術書院, 1992, p170~174
5. 차량화재 연소현상과 발화원에 관한 연구, 대구지방경찰청, 2003
6. 차량화재 연소실험결과, 서울소방방재본부, 2002
7. LPG자동차안전관리, 한국가스안전공사, 2002
8. 김재휘, 자동차기관(I · II), 중원사, 1997
9. 은정표 · 신창선, 자동차구조학, 동신출판사, 1992