시동불능 자동차에서 발생한 화재의 원인 분석 연구

이 의 평*

전주대학교 소방안전공학과

A Study on Cause Analysis of a Fire that Broke Out on a No-start Motor Vehicle

Euipyong Lee*

Department of Fire Safety Engineering, Jeonju University, Jeonbuk 560-759, Korea
(Received 20 January 2011 / Revised 16 March 2012 / Accepted 14 May 2012)

Abstract : It is often thought that because no-start motor vehicles cannot start an engine, a fire cannot occur for motor vehicle causes. However, although the engine cannot start up, some parts may be live with electricity if a battery is connected. If the parts have problems, a fire can occur. This study analyzed the causes of fires occurring when a motor vehicle was loaded onto a tow truck to service no-start. It is suggested that no-start motor vehicles should separate a battery terminal to prevent a fire. And this fire is related to automotive products liability.

Key words : Fire(화재), Automotive fire(자동차화재), Fire cause(화재원인), Defect(결함), Product liability(제조물책임)

1. 서론

우리나라는 소방방재청의 통계에 의하면 연간 6000건 정도의 자동차화재가 발생하고 있다.¹⁾ 화재의 원인을 규명하여 책임소재를 분명히 함은 물론 예방정책에 피드백하기 위해서도 그리고 교통체증 등 2차적인 피해를 줄이기 위해서도 자동차화재의 철저한 원인규명은 필수적인 상황에 놓여 있다.²⁾

자동차는 휘발유, 경유, 가스 등을 연료로 사용하고 있고 이들 연료는 쉽게 불이 붙으며 언론보도나 영화 등을 통해 자동차화재 영상을 접하고 있으므로 운행 중 자동차화재가 발생하면 불붙기 쉬운 연료를 사용하며 운행 중이었으니 화재가 발생할 수 있다고 생각하며 자동차운전자 자신은 화재발생 사실이 납득하기 어렵지만, 자동차운전자 등 직접 관계되는 사람 외에는 화재발생 자체를 이상하게 생

각하지 않는 것 같다.

그러나 엔진이 정지된 주차 중인 상태에서 화재가 발생하는 경우에는 연료를 사용하지 않은 상태이었는데 어떻게 화재가 발생할 수 있는지 의아해하는 경우를 볼 수 있다. 특히, 주차 중인 자동차화재 중에는 명백히 방화나 다른 곳에서 발생된 화재로부터 옮겨 붙은 화재가 아님에도 시동을 걸어도 시동이 안 걸렸던 자동차에서 화재가 발생하는 경우를 볼 수 있는데, 이러한 화재에 대해서는 더욱이 납득하지 못하는 것 같다.

이 논문에서는 자동차화재의 원인규명절차를 요약하여 서술한 후 시동을 걸어도 시동이 안걸렸던 자동차에서 발생한 화재에 구체적으로 분석한다.

2. 자동차화재의 원인규명 절차

주택, 자동차 등에서 화재가 발생하면 일반적으로 119신고가 되고 소방대가 출동하여 진화한다. 모

*Corresponding author, E-mail: krfirechief@empal.com

든 소방서 화재조사팀은 화재진화를 위해 출동하는 소방대와 동시에 출동하는 시스템을 갖추고 있으므로 자동차화재가 발생하게 되면 1차적으로 관할소방서의 화재조사팀에서 화재원인을 조사하게 된다. 그리고 화재현장에는 경찰서의 과학수사팀에서 출동하는 경우도 있다. 경찰의 주된 화재조사목적은 그 화재가 범죄와 관련되어 있는지를 조사하기 위함이다. 경찰서의 과학수사팀에서 조사하기 어려운 화재인 경우에는 국과수(국립과학수사연구원)에 의뢰하여 조사하기도 한다. 또한 손해보험회사 등은 소방·경찰·국과수 등 공적인 기관에서의 원인조사가 미흡한 경우에는 민간자동차화재조사전문가에 의뢰하여 원인규명을 하는 경우도 있다.

소방서, 경찰서, 국립과학수사연구원 등의 자동차화재에 대한 원인규명 절차는 거의 동일하다. 화재원인규명 절차는 우선 연소강약(화열로 인한 피해가 심하고 심하지 않은지의 판별), 연소확대방향(불이 번져간 방향의 판별), 관계자진술 등을 통해 발화개소를 규명하고, 압축된 발화개소를 발굴하거나 면밀히 조사하여 화재원인이 될 가능성이 있는 모든 발화원 등을 검토한 후 화재와 상관성이 없는 것을 하나씩 배제(소거)해가면서 관련성이 높은 것들만 남긴 후 구체적인 검토나 분석을 통해 최종적인 화재원인을 판정하는 절차를 따른다. 경우에 따라서는 재현실험을 통해 화재원인을 객관화시키기도 한다. 화재조사가 종료되면 소방서에서 ‘화재증명원’을, 경찰서에서 ‘사건사고사실확인원’을 발급받을 수 있으며, 이들 서류에 화재원인이 기재되고 있다.

3. 시동불능 자동차에서 발생한 화재 사례의 원인 분석

3.1 화재개요

자동차 구입 후 약 6,200km 정도를 주행한 자동차가 주행 후 주차했다가 다시 출발하려고 시동을 걸었더니 시동이 걸리지 않아 메이커의 긴급출동서비스에 신고하였고, 서비스기사는 지방의 현장에 출동하여 조치할 수 없어서 본사 상황실로 전화하여 견인트럭을 보내달라고 요청하였고, 본사 상황실에서는 경미한 사항일 경우에는 서비스를 나간 직원

쪽에서 견인비용을 부담해야 하니 릴레이를 한 번 더 점검하라고 하여 서비스 기사는 자동차의 퓨즈박스를 재점검하였으며 시동키 릴레이와 PTC 릴레이를 바꿔서 끼는 순간 엔진룸 쪽에서 연기가 올라와서 자동차화재의 우려가 있다고 판단하여 시동키를 빼고 바꿔 끼웠던 릴레이도 퓨즈박스에서 탈거시켰다.

서비스기사는 더 이상 점검이 어렵다고 판단되어 상황실로 다시 연락하여 현장에서 조치가 불가하니 견인트럭을 보내달라고 요청하였고, 서비스기사는 견인트럭에 자동차를 적재하고 시동키를 빼고 출입문을 잠갔다. 토요일이라 고속도로가 막히는 관계로 다음 날 서울의 정비공장으로 운반하려고, 18:00 경부터 견인트럭 위에 올려놓고 견인트럭 운전자가 거주하는 빌라 주차장에 보관하던 중 다음 날 02:24 경 이 자동차에서 화재가 발생한 것이 이 빌라의 3층 거주자에 의해 목격되었고 이 화재로 인해 운반트럭까지 전손되는 피해를 입었다.

소방서의 ‘화재증명원’은 발화지점을 적재된 자동차의 엔진부분으로 추정하고 있고, 경찰서의 ‘사건사고사실확인원’은 적재된 자동차 내에서 화재가 발생한 것으로 기재하고 있다. 즉, 소방서와 경찰서는 견인트럭에서 화재가 발생된 것이 아니라 적재된 자동차에서 화재가 발생하였다고 판단하고 있다.

운전자가 서비스기사에게 왜 시동이 걸리지 않는다고 질문하였더니 “주행 중 시동모터가 계속 작동하고 있었던 것 같다”고 대답하였다고 한다.

3.2 발화개소 판정

아래와 같은 이유로 인해 발화개소는 엔진실 좌측(운전석에 앉아 앞쪽 보는 경우를 기준으로 함. 이하 동일함) 중 배터리 우측과 엔진블록 좌측 사이로 한정할 수 있으며, 바닥 쪽은 발화개소에서 배제할 수 있다.

- 자동차 뒤쪽은 화재로 인한 피해가 없으므로 발화개소에서 완전히 배제되고, 엔진실에서 차실로 연소확대된 상태이므로 발화개소는 자동차 엔진실로 한정할 수 있음(Photo. 1, Photo. 2 참조)
- 자동차 하부의 바닥 쪽에서 발화된 흔적이 없으므로 렉카차 하부(화물실 바닥) 쪽은 발화개소로서

배제 가능하며 견인자동차는 이 자동차의 화재로 인해 2차적으로 소손상태임(Photo. 1, Photo. 3 참조)

- 좌우측 타이어의 소손상황과 알루미늄 휠의 용융상황을 비교한 바 좌측이 심함(Photo. 2 참조)
- 전면 좌우측 변색상황과 헤드램프의 소손상황을 비교한바 좌측이 우측보다 변색이 심하고, 좌측 헤드램프가 탈락되어 있음(Photo. 2 참조)
- 엔진실 내부는 좌측부위가 우측부위보다 소손정도가 심함(Photo. 4 참조)
 - 우측의 배기다기관과 알루미늄으로 된 터보장치는 용융되지 않았으나 좌측의 알루미늄으로 된 흡기매니폴드는 용융되어 있음
 - 엔진실 쪽 대시보드 패널의 좌우측을 비교한바 좌측의 변색이 강함
 - 엔진 앞쪽 우측의 발전기(제너레이터) 케이스의 일부만 용융됨에 비해 좌측의 에어컨 압축기 위 케이스가 용융됨
 - 배터리와 퓨즈박스는 우측에서 화열을 받은 상황임
- 엔진블록의 좌측 하부 가까운 곳에 위치한 시동모터 상부의 마그네트 스위치의 커넥터 부분이 소손되고 시동모터 신호선에 단락흔이 있음(Photo. 4 와 Photo. 5의 ㉠의 부위)
- 시동모터의 마그네트 스위치 커넥터부위의 플라스틱 케이스가 소실되어 있고 커넥터 연결부(접속부)의 전선이 노출되어 있음(Photo. 6 참조)
- 깨진 창문유리는 화재 시 단혀 있다가 소방대에 의해 파손되었음을 나타내고 있음(Photo. 7, Photo. 8 참조)

Photo. 2 The car that loaded on a wrecker

Photo. 1 View of a car that a fire broke out

Photo. 3 View of bottom side of the car that a fire burnt out

Photo. 4 Comparison between engine compartment burnt out and not burn out

Photo. 5 Arc bead on signal electric wire of starter motor

Photo. 6 Case of magnet switch and connection electric wire

Photo. 7 Glasses damaged by a fire brigade

Photo. 8 Traces remaining on rubber because glass broke in condition that the window was closed

Photo. 9 View of front seats

Photo. 10 View of rear seats

- 앞좌석 쪽에서 뒷좌석 쪽으로 연소확대되고 앞좌석 상부 쪽의 손손이 심하므로 엔진실에서 차실로 연소확대된 상황이므로 차실은 발화개소로서 배제 가능함(Photo. 9, Photo. 10 참조)

3.3 화재원인 분석

정차된 상태로 엔진 정지된 상태이었고 건인트럭에 적재된 후 7시간 정도 경과하였으므로 연료배관을 통한 연료(경유) 누설, 엔진오일누설, 엔진과열에 의한 화재는 배제할 수 있다.

엔진정지 후 화재가 발생하는 경우는 크게 방화, 담뱃불에 의한 화재, 외부발화에 의한 화재(다른 곳에서 발화된 화재로 인해 연소확대된 경우), 전기적인 원인에 의한 화재 등 네 가지를 생각할 수 있다. 그러므로 방화, 담뱃불에 의한 화재, 외부발화가 배제되는 경우는 전기적인 원인만을 생각할 수 있다.³⁾ 이 4가지에 대해 구체적으로 검토한다.

3.3.1 방화

화재 시 자동차 문이 닫힌 상태이었으며 발화개

소가 차실, 바닥, 타이어가 아니고 엔진실 내부이며, 서비스기사의 '긴급출동확인서'에 자동차문을 잠근 것으로 기록하고 있으며, 방화로 인한 보험금수령 등 실익이 없는 바 방화화재는 배제할 수 있다.

3.3.2 담뱃불 또는 담배꽂초

발화개소가 차실(승객실)이 아니고, 건인트럭에 적재된 후 보닛을 닫은 상태에서 7시간이상 정차 중이었으므로 보닛을 닫기 전에 고의로 담배꽂초를 엔진룸에 버렸다고 하더라도 화재로 이어지기 어렵다. 덜 꺼진 담배꽂초가 화재로 이어지기 위해서는 무염연소(無炎燃燒)를 확대시켜야 하나 엔진실은 차실의 의자와 달리 무염연소를 진행시킬 수 없다. 그리고 엔진실 내의 배선과 PVC 제품은 모두 난연성이 높은 것이므로 담배꽂초와 같은 불씨로는 불이 붙기 어렵다. 지나가던 다른 사람이 담배꽂초를 이 자동차에 던지더라도 엔진실에 들어가기 어렵고 설령 들어갔다고 하더라도 화재로 이어지기 어렵다.⁴⁾ 따라서 담뱃불 또는 담배꽂초에 의한 화재는 배제할 수 있다.

3.3.3 외부발화

건인트럭이나 외부에서 발생한 화재가 자동차로 옮겨 붙은 상황이 아니므로 건인트럭과 외부발화에 의한 화재는 배제할 수 있다.

3.3.4 전기적인 원인에 의한 화재

엔진정지 상태에서도 전기가 들어오는 전선은 배터리에서 시동모터로 연결되는 전선, 발전기 출력전선, 배터리 단자, 퓨즈 박스 2차측의 전등용(후미등, 비상등, 실내등 등) 전기배선 등이 있다. 이 전선의 피복이 손상되어 전선 내부의 도체가 차체 등과 접촉하여 합선(단락)되거나 접속부가 이완되어 발열하게 되면 화재로 이어질 수 있다.^{5,6)}

배터리단자+ 접속단자가 잘 조여져 있지 않으면 화재로 이어질 수 있으나, 사고자동차의+ 접속단자는 화재 후에도 견고히 체결되어 있고, 진동이 없는 엔진정지 정차상태이었으므로 배터리 단자의 이완은 화재의 원인으로서 배제 가능하다.

전기배선은 여러 가닥을 묶은 하니스로 배선되어 있으며, 예외적으로 배터리에서 시동모터로 가는 전원공급전선과 제너레이터(발전기) 출력전선(배터리로 들어오는 전선)은 단일연선으로 되어 있고,

또한 예외적으로 이들 배선은 퓨즈를 경유하지 않고 배선되어 있으며, 시동모터로 가는 전선은 배터리와 연결되어 있으면 배터리가 완전 방전될 때까지 전기가 살아 있다. 자동차의 전기배선은 +극, 차체가 -극이다. 자동차는 운행 중 항상 진동이 수반되므로 예리한 모서리 등과 접촉하여 피복(하니스, +배선자체)이 벗겨져 차체와 접촉되면 단락(합선)되어 전기화재를 일으킬 수 있고, 합선(단락)이 연속적으로 일어나면 퓨즈박스 내의 퓨즈가 끊어져 전원공급이 차단된다.⁷⁾ 퓨즈박스 내 퓨즈는 심하게 손상되어 과전류 통전으로 인한 끊어짐 여부를 알 수 없으나 퓨즈를 경유한 전기배선에서 전기적인 합선(단락)흔적이 발견되지 않으므로 퓨즈를 경유한 전기배선은 이 화재와 관련성이 없는 것으로 해석할 수 있다.

발전기(제너레이터) 출력전선에서 배터리로 가는 단일연선에서 합선흔적과 같은 전기적인 특이점이 발견되지 아니하므로 발전기(제너레이터) 출력전선과 이 화재는 관련성이 없다. 엔진블록의 좌측 하부 가까운 곳에 위치한 시동모터 상부의 마그네트 스위치의 커넥터 부분의 플라스틱 케이스가 손상되고 커넥터 연결부(접속부)의 체결나사 2개가

Photo. 11 Comparison of new starter motor and it that a fire broke out

Photo. 12 Arc bead(○) and signal electric wire of the starter motor

없어져 있어(Photo. 11 참조) 시동모터를 차체에서 분리하여 조사한 바, 시동모터 신호선에 단락흔이 있으며(Photo. 12 참조), 마그네트 스위치의 절연물의 절연저항이 저하되어 있고(Photo. 13 참조), 마그네트스위치 내부의 금속이 국부적으로 용융(Photo. 14 참조)되어 있는 것으로 보아 계속 반복적인 전기적인 스파크에 기인하여 마그네트스위치에서 내부 절연물에 탄화도전로(炭化導電路)가 형성되고 이로 인해 절연저항이 저하되면서 발화된 것으로 판단된다.

- 절연저항이 ∞ 이어야 하지만 절연성능이 크게 저하되어 있는데, 절연물 사이에 누설전류가 흘러 전기적 스파크가 계속 반복적으로 발생하여 탄화도전로가 형성된 것으로 판단되며 그 결과로 전기저항이 감소할 수 있음(단순히 화재에 노출되어서는 탄화도전로가 형성되지 않음)

배터리 접속단자를 단자를 풀고 그 사이에 먼잡갑 등과 같은 절연재를 삽입하여 전력공급을 차단했으면 전원공급이 될 수 없으므로 화재가 발생할 수 없었을 것으로 판단되므로 서비스기사의 조치미흡과 화재발생의 상관성은 배제할 수 없다.

Photo. 13 Conducting circumstance of magnet switch

Photo. 14 Magnet switch that internal metal became melting locally

3.4 마그네트 스위치 내부 절연물 사이에 누설전류가 흐른 원인과 책임소재 판단

마그네트 스위치 내부 절연물 사이에 누설전류가 흐른 이유는 ① 이 자동차가 사고발생 약 3개월 전에 신차로 인수되어 사고이력이 없으며 주행거리 약 6,200km에 지나지 않은 점, ② 자동차운전자의 ‘확인서’에 의하면 서비스기사가 “스타트모터가 주행 중에 계속 작동하고 있었던 것 같다”고 진술한

점, 2가지를 감안하면 시동모터의 제작결함일 가능성이 크다.

또한 자동차 운전자의 ‘확인서’와 서비스기사의 ‘긴급출동확인서’에 ‘서비스직원이 시동키 릴레이와 PTC 릴레이를 바꿔 끼우는 순간 자동차의 엔진룸 쪽에서 연기가 올라왔다’고 기록되어 있는 점을 감안하면 제품결함과 별개로 서비스기사의 정비(서비스) 잘못에 기인하여 화재가 발생한 것도 배제할 수 없다.

시동(스타트)모터 마그네트 스위치 내부의 절연물 사이에 누설전류가 흐른 이유가 제품결함에 기인한 것인지 정비(서비스)의 잘못에 기인한 것인지를 판별은 어렵다. 왜냐하면, 제품결함에 기인하든지 정비잘못에 기인하든지간에 그 결과로 마그네트 스위치 내부의 절연물 사이에 누설전류가 흘렀기 때문이다. 즉, 2가지 조건 모두 절연물 사이에 누설전류를 흐르게 할 수 있으므로 어느 조건만이 이 자동차화재에 기여했는지는 판별할 수 없다.

그리고 제품결함 또는 서비스(정비)의 잘못으로 시동모터의 마그네트 스위치에 이상이 있었다라도 배터리 + 접속단자를 분리하였으면 전력공급이 안되어 화재가 발생하지 않았을 것이므로 이 자동차의 화재 원인 제공은 서비스 기사가 배터리 + 접속단자를 분리하지 않았음에도 있다고 할 수 있다.

따라서 이 화재의 책임은 자동차 메이커(책임 : 제조자로서 제품결함)와 서비스회사(책임 : 배터리 + 단자 미분리) 양자에게 있다고 할 수 있으며 양자 사이의 책임비율 또는 양자 중 어느 한쪽의 면책에 대해서는 자동차소유주(운전자)나 손해보험회사가 규명할 사항이 아니라 자동차메이커와 서비스회사 양자 사이의 구체적인 조사 또는 협의에 의해 결정될 사안이라 판단된다.

이 화재는 배터리를 분리했으면 발생하지 않았을 것이므로, 시동불량인 경우에는 자동차화재를 예방하기 위해서 배터리 단자를 분리할 것을 제안한다.

4. 결 론

자동차 시동이 걸리지 않더라도 배터리가 연결되어 있으면 전기가 흐르는 부분이 있으므로 이 부분에 문제가 있는 경우에 화재가 발생할 수 있음에도

시동불능 자동차는 엔진이 걸리지 않으므로 자동차 자체적인 원인으로는 화재가 발생하지 않을 것으로 생각하는 경향이 있다.

이 논문에서는 시동불능으로 인해 정비하기 위해 건인트럭에 적재된 상태에서 발생한 자동차화재에 대해 구체적으로 화재원인을 분석하였다.

시동모터 상부의 마그네트 스위치 커넥터 부분의 플라스틱 케이스가 손상되고 시동모터 신호선에 단락흔이 있으며, 마그네트 스위치의 절연물의 절연저항이 저하되어 있고, 마그네트스위치 내부의 금속이 국부적으로 용융되어 있는 것으로 보아 계속 반복된 전기적인 스파크로 인해 마그네트스위치 내부 절연물에 탄화도전로(炭化導電路)가 형성되어 절연저항이 저하되어 발화된 것으로 분석하였다.

배터리 접속단자 단자를 풀고 그 사이에 면장갑 등과 같은 절연재를 삽입하여 전력공급을 차단했으면 화재가 발생할 수 없었을 것이므로 시동불능인 자동차는 화재를 예방하기 위해서 배터리 단자를 분리해두어야 함을 제안하고 있다.

자동차화재원인규명 절차에서 언급한 것처럼 재현실험을 통해 화재원인을 보다 객관화시키기는 것이 바람직하나 화재로 소실되는 등의 이유로 상황을 재현할 수 없는 점은 아쉬움으로 남는다.

References

- 1) National Emergency Management Agency, Data and Statistics of Fire Administration, p.155, 2010.
- 2) E. Lee, "Cause Analysis on Motor Vehicle Fires," Proceeding of 2010 Autumn Annual Conference, KIFI, Vol.20, p.33, 2010.
- 3) E. Lee, "Cause Analysis on Parked Motor Vehicle Fires," Proceeding of 2010 Autumn Annual Conference, KIFI, Vol.20, p.128, 2010.
- 4) E. Lee, "Cause Analysis on Parked Motor Vehicle Fires," Proceeding of 2010 Autumn Annual Conference, KIFI, Vol.20, pp.128-130, 2010.
- 5) Lee S. Cole, The Investigation of Motor Vehicle Fires, 4th Edn., Lee Books, Texas, USA, pp.28-31, 2001.
- 6) Tokyo Fire Department, "New Fire Investigation Handbook," Vol.4, Tokyo Disaster Prevention & Emergency Medical Service Association, pp.17-18, 2000.
- 7) National Fire Protection Association, NFPA 921 Guide for Fire and Explosion Investigations, pp.215-216, 2008.