



자동차 엔진룸 관련 전기 배선의 단락 및 열에 의한 절연피복 용융에 대한 화재사례 연구

†이일권 · 김영규* · 염광욱**

대림대학교 자동차공학과, *한국가스안전공사, **중앙대학교 대학원 기계공학부
(2013년 9월 5일 접수, 2013년 12월 5일 수정, 2013년 12월 5일 채택)

Study of Fire Examples for Electrical Wire Short and Insulated Coating Melting by Heating Including Automotive Engine Room

†Il Kwon Lee · *Young Gyu Kim · **Kwang Wook Youm

Department of Automotive Engineering, Daelim University College,

**Korea Gas Safety Corporation,*

***Department of Mechanical Engineering, Graduate School, Chung-Ang University*

(Received September 5, 2013; Revised December 5, 2013; Accepted December 5, 2013)

요약

이 논문은 자동차 엔진룸에서 전기적인 접촉불량에 의한 단락현상과 엔진의 뜨거운 열에 의해 가연성 물질과 접촉하여 화재가 발생된 원인을 분석하고 연구하는 것이다. 첫째, 배터리에서 시동모터로 연결되어 있는 배터리 전원선이 자동변속기 상단에 배선을 고정시켜 주는 브래킷(Bracket) 볼트 이완으로 차체와의 단락 현상에 의해 화재가 발생된 것을 확인하였다. 둘째, 배터리에서 시동모터까지 가는 배선에 감은 절연테이프가 녹아 단락현상에 의해 화재를 일으킨 것을 확인하였다. 셋째, 냉각 팬 배선이 이완되어 과열된 엔진의 열에 의해 배선이 용착되어 화재가 발생된 것을 확인하였다 따라서, 엔진에 관련된 시스템의 화재는 엔진 및 각 시스템의 손상으로 자동차 탑승객을 위협에 처하게 하며, 화재 후 자동차는 재사용이 어렵게 되므로 시스템의 철저한 관리와 세심한 주의가 요구되어진다.

Abstract - This paper is to analyze and study the cause of fire examples produced because of short phenomenon by electric connecting damage and contacting engine over-heating with combustible materials in engine room of vehicle. In the first example, it knew the fact that the fire produced by contacting with body of vehicle because of loosed of bracket bolt for wire fixing that installed on the transmission case the battery power cable supply the power from battery of engine room to starting motor. In the second example, it certified the fire by short phenomenon because of insulation tape melting wound wiring lined from battery to starting motor. In the third example, it sought for fire's cause that melting phenomenon the wire coating by overheated engine as the wire disconnected with connector by the vibration. Therefore, the fire of system including engine electric made in the danger the people in the car by failure of engine and other system. And than, the car's driver must manage and examine a vehicle conscientiously.

Key words : Engine Room, Automotive Fire, Body Short, Wiring Overheating, Exhaust Heat

†Corresponding author: iklee@daelim.ac.kr

Copyright © 2013 by The Korean Institute of Gas

I. 서론

최근 자동차는 기계, 전기전자, 금속재료, 우주항공, 인체공학, 디자인 등의 매우 복잡하고 다양한 시스템이 적용되고 있다. 이러한 다양한 시스템의 신기술을 적용하기 위해 운전자의 요구에 맞게 제한된 공간에 여러 가지 시스템을 배치하려다 보니 매우 복잡하게 구성되어 있다.

자동차의 후드를 열고 내부를 들여다 보면 자동차의 그레이드(grade)가 높은 자동차일수록 자동차의 부품들이 많이 장착되어 있어 공간이 매우 좁은 것을 확인할 수 있다. 특히, 전자제어 시스템이 적용되면서 엔진의 최적 제어를 위해 센서와 액추에이터 및 제어 컴퓨터 등이 설치되어 있다. 이러한 각각의 부품들은 전기배선에 의해 연결되어 각 부에 전기적인 신호를 받아 작동하고 있으며 전기적인 접촉불량이나 배선의 연결이 분리되어 전기적인 고장이 발생한 고장사례에 대한 연구논문이 발표되었다[1-3]. 그러나 이러한 배선에 전류가 흐를 때 전기 배선이 경화, 자동차 진동에 의해 느슨해진 배선이 차체나 부품과의 마찰에 의해 내구성이 떨어져 전선의 절연피복이 벗겨져 차체 또는 고정 브래킷과의 전기적인 충돌에 의한 단락현상이 발생할 수 있다. 도선에 전기가 흐를 때 전기가 누설되어 물체와의 전기적인 충돌에 의해 시스템이 손상될 수 있다. 이러한 시스템에 대한 손상을 미리 차단함으로써 손상을 최소화하기 위한 퓨즈시스템은 자동차시스템에 1965년 chrysler 자동차에서 최초로 적용되었다[4]. 전기적인 신호에 의해 제어되는 자동차 시스템은 관련 부품의 물체에 전기적인 누설접촉에 의해 단락현상이 발생되면 화재원과 결합됨으로써 화재가 발생할 수 있다. 또한, 자동차 엔진룸 내부에 연료나 가스등의 가연성 물질이 유입되어 엔진의 열이 발생하는 부분에 접촉되거나 전기적인 화재원이 되어 화재를 일으킬 수 있다는 화재사례에 대한 연구논문도 발표되었다 [5]. 자동차 의 어떤 시스템에서 자동차 화재가 발생하였을 경우에는 짧은 시간에 화재가 발생한 시스템에서 시작하여 짧은 시간에 자동차가 모두 타서 자동차의 화재 원인을 찾기가 쉽지 않다. 따라서, 자동차 제작사에서는 자동차 엔진룸에 적용되는 각종 부품들이 화재가 발생하였을 때도 잘 타지 않는 소재를 사용하여 자동차의 화재에 대한 내구성을 강화하여야 할 필요성이 있다. 이러한 목적으로 화재에 저항성이 강한 소재에 대한 연구도 활발하게 진행되고 있다[6,7]. 또한, 운전자는 자동차를 점검할 때 세심하게 자동차 관리에 만전을 기해야 이러한 화재를 사전에 방지할 수 있다. 따라서, 이 논문은 자동차엔진의 전기

적인 접촉불량에 의한 단락과 전기배선이 자동차 엔진부의 열과 접촉하여 발생하는 화재와 관련된 고장 사례를 조사하고 이를 분석하여 이에 대한 개선 및 연구방향을 제시하고자 한다.

II. 이론적 배경

2.1. 엔진전기 시스템

2.1.1. 엔진룸 시스템의 구성

자동차 엔진의 엔진룸에는 자동차 엔진과 변속기 어셈블리가 설치되어 있다. 또한, 엔진과 변속기를 제어하는 윤활장치, 냉각장치, 연료장치 등의 부속품들이 장착되어 있다. 이러한 시스템을 원활하게 작동시키기 위해 시스템에 관련된 각종 센서와 배선들이 연결되어 있다. 이러한 배선들은 각각의 커넥터를 연결자로 연결되어 있다. 엔진에 공급되는 전기는 배터리에서 시작하여 엔진을 제어하는 센서, 액추에이터 및 컴퓨터에 해당되는 부분에 전기를 공급하는데 있어 매우 복잡한 구조로 되어 있다. 이러한 배선의 각 요소에는 커넥터로 체결되어 시스템을 제어하는 데 이러한 부분이 접촉불량에 의한 단락현상이나 전기적인 열에 의해 화재가 발생할 수가 있다. 또한, 이러한 엔진의 전기 시스템을 작동하기 위해 배터리, 충전장치, 시동장치 등의 시스템이 장착되어 있다. 이러한 시스템에는 전기를 공급하기 위해 배선들이 연결되어 있는데 이것이 전기적인 접촉불량 현상에 의해 화재의 원인이 될 수 있다[8]. Fig.1은 엔진룸의 형상 사례를 보여주는 것이다.

2.1.2. 엔진 전기 시스템의 화재 진단방법

엔진의 전기 시스템은 배터리에서 공급되는 전기가 엔진의 시동장치, 충전장치, 점화장치, 냉각장치,



Fig. 1. Figure example of automotive engine.

연료장치에 관련된 시스템의 각 전기를 공급하는 배선인 컨트롤 와이어링(control wiring)이라는 배선 묶음에 의해 전기를 공급받아 커넥터로 연결되어 전기를 공급하고 있다[9,10,11]. 이 와이어링 부위에 화재가 발생하였을 때는 각 배선을 꼼꼼하게 확인하고, 철저한 분석을 통해 원인을 찾아야 한다. 자동차 화재는 화재가 발생하였을 때 초기에 화재위치를 확인하였을 때는 화재의 원인을 바로 찾을 수 있으나, 화재 발생후 타고 난 다음에는 원인을 찾기가 매우 어렵다. 따라서, 엔진룸 부위에서 발생하는 자동차 화재는 시스템을 정확하게 알고, 엔진의 작동상태를 확인하여 엔진과 관련된 각종 센서, 액추에이터 및 엔진 컴퓨터(Electronic control unit) 등의 작동정보를 철저하게 분석할 수 있어야 한다[12]. 따라서, 화재가 발생하였을 때는 각 시스템에 관련된 엔진의 전기시스템을 전체적으로 점검하여 철저하게 화재의 원인을 찾아도록 하여야 한다.

III. 자동차 엔진 전기시스템의 화재 사례

3.1. 배터리 본선 케이블 접촉불량으로 인한 배선 열화에 의한 화재사례

3.1.1. 현상

자동차의 시동을 걸어 둔 상태에서 운전자가 잠깐 휴식을 취하면서 정차중에 자동차의 엔진룸에서 연기가 나며 화재가 발생하였다.

3.1.2. 분석

자동차의 엔진룸을 확인한 결과 자동차의 엔진룸의 모든 부분이 화재에 의해 탄 것을 확인하였다. 배터리 본선 케이블은 배터리에 저장되어 있는 전기를 각 부에 공급하기 위한 배선을 말하며, 이것은 각 부에 전원을 공급하기 전에 퓨즈 블링크(fusible-link)를 거쳐 퓨즈 박스로 전원을 공급한다.

자동차에는 각부의 전기적인 안전을 위하여 사용하는 퓨즈의 묶음이 두 개의 박스에 내장되어 설치되어 있다. 하나는 엔진룸에 있는데 이를 퓨즈블링크 및 릴레이 박스라고 한다. 또 다른 하나는 자동차의 실내에 있는 것으로 이것을 실내 퓨즈 박스라고 한다. 엔진룸에 있는 퓨즈 블링크는 배터리에 연결된 전기회로에 과부하가 걸리면 퓨즈블링크가 녹아서 끊어져 전체 전기배선에 손상이 없도록 보호하여 준다.

이 자동차는 점검한 결과, 자동차의 전체가 화재에 의해 손상된 것을 확인하였다. 일반적으로 퓨즈가 끊어진다는 것은 전기장치의 어느 시스템에 전기적으로 과부하가 발생하여 이를 사전에 차단하여 주

기 위하여 조치하는 사전 안전장치(pre-safety system)라 할 수 있다. 이 화재는 냉각장치의 냉각 팬으로 공급되는 전원부에서 전기적인 과부하가 발생하여 진 것으로 판단하였다. 즉, Fig.2에서 보면, 냉각 팬 퓨즈 전 배선인 배터리 본선 케이블이 퓨즈 블링크를 고정하는 있던 브라켓(bracket)과의 전기적인 접촉으로 인한 단락(short)현상이 발생하면서 이 전기적인 마찰열에 의해 열화현상이 발생하였고, 이것이 화염으로 진행되어 확산되면서 화재가 발생한 것으로 확인되었다. Fig.2는 퓨즈블링크와 브라켓과의 접촉에 의한 단락현상으로 화재가 발생되어 소실된 사례를 보여주는 것이다.

3.1.3. 고찰

퓨즈가 끊어졌을 때는 동일한 용량의 새로운 퓨즈로 교환하여 제자리에 단단히 삽입하여 준다. 또한, 퓨즈를 교환한 다음 해당 시스템을 작동하였을 때 반복하여 퓨즈가 끊어지면 전기 시스템에 문제가 있는 것으로 판단하여 전기적인 배선을 점검하여 퓨즈의 끊어지는 원인을 확인하여 전기적인 안전시스템 관리를 철저하게 하여야 한다.

3.2. 배선의 절연 테이프 녹음으로 인한 화재 사례

3.2.1. 현상

운전중 자동차를 세우고 주유를 하기 위해 자동차를 정차하던 중에 엔진룸에서 연기가 발생하면서 화재가 발생하였다.

3.2.2. 분석

변속기 유압유는 변속기 하단에 용기에 담겨 있는데 이것이 자동변속기 오일 팬이다. 이 화재 사례



Fig. 2. Fusible-link parts example being fire causing.



Fig. 3. Fire example by dissolving wire band near to transmission oil pan.

의 경우에서 보면 엔진을 작동시키기 위해서 시동 모터로 오는 배선은 배터리에서 공급되는 전원의 배선이 자동변속기를 지나 시동모터로 공급된다. 이 배선의 손상을 방지하고 전기적인 절연을 위하여 배선에는 밴드테이프를 감아 처리하였다. 그러나 밴드부의 내구성이 떨어지거나 손상을 입게 되면 화재의 원인이 될 수 있다[13]. 화재 부위를 확인한 결과 엔진룸의 퓨즈박스에서 시동모터로 가는 본선배선이 많이 손상되었으며, 또한 배터리 본선이 시동모터로 연결되는 배선이 자동변속기를 상단을 거쳐 오일 팬을 지나는 배선의 절연밴드 테이프가 녹은 것이 확인되었다. 이 화재원인은 자동차를 정비한 다음 배선의 단락을 방지하기 위하여 배선작업을 한 다음 밴드를 감아 마감작업을 하였다. 따라서, 이 밴드가 엔진의 진동과 열에 의해 느슨해지면서 엔진의 뜨거운 열에 의해 녹아 배선과 차체의 단락으로 인해 스파크(spark)가 발생하면서 이것에 의해 근처의 이물질과 화재원이 되어 화염이 생성되어, 이러한 화염원이 주위로 확산되어 엔진부가 모두 손상된 것으로 확인되었다. Fig.3은 자동변속기 오일 팬을 지나는 배선을 고정하기 위해 감은 밴드부에서 발생한 화재로 소손된 사례를 보여주는 것이다.

3.2.3. 고찰

자동차의 배선들은 매우 복잡하게 되어 있다. 이러한 배선들은 자동차가 움직일 때 유격이나 흔들림이 없어야 한다. 만약, 운전하는 동안 배선들이 유격이 심하게 되면 배선 연결부의 접촉불량이나 엔진의 뜨거운 부품과 접촉하여 화재의 원인이 되거나 손상을 입게 된다. 이러한 유격을 방지하기 위하여 배선과 배선을 묶어 밴드로 처리하는 예가 있다. 그러나 이러한 밴드 처리를 철저하게 하지 않게 되면 배선

이 손상되거나 화재의 위험을 초래할 수 있다. 따라서, 이러한 화재를 사전에 방지하기 위하여 철저하게 관리하여야 할 것으로 판단된다.

3.3. 엔진의 열에 의해 라디에이터 냉각 팬 배선부 녹음에 의한 화재발생사례

3.3.1. 현상

운전자가 자동차를 운행하다가 잠깐 휴식을 위해 자동차의 시동을 걸어 둔 다음 휴식을 취하던 중 엔진룸에서 연기가 나며 화재가 발생하였다.

3.3.2. 분석

라디에이터는 엔진의 뜨거워진 엔진열에 의해 뜨거워진 냉각수를 냉각시스템을 통하여 엔진 외부로 유출하여 라디에이터라는 시스템에 보내 냉각팬에 의해 냉각한 다음 엔진 내부로 공급하여 엔진 내부의 연소열을 냉각하는 기능을 한다. 이러한 냉각수의 냉각은 엔진과 라디에이터라는 순환계를 통하여 순환함으로써 엔진의 열을 효과적으로 냉각시키는 역할을 하는 부품이다.

냉각 팬(cooling fan)은 엔진이 작동할 때 냉각수의 온도가 낮을 때에는 작동하지 않으나, 엔진 내부의 온도가 80~85℃ 정도 되면 수온조절기가 조금씩 열리기 시작하여 엔진 내부의 뜨거워진 냉각수가 유출 파이프에 의해 라디에이터로 흐른다. 이 때 엔진의 냉각수 온도가 95~105℃정도가 되면 냉각 팬이 회전하기 시작하여 엔진의 냉각수의 온도를 낮추며 적정 온도가 되면 작동을 중단한다. 엔진이 작동하는 동안 냉각 팬의 이러한 작동은 반복적으로 되풀이 하여 엔진의 온도를 적절한 온도로 유지하게 하는 역할을 한다.

따라서, 엔진이 작동하는 동안 냉각 시스템에 문제가 발생하면 엔진의 시스템은 심각한 고장원인이 된다. 이 자동차의 경우에는 자동차의 엔진룸을 열고 확인한 결과 엔진 내부의 냉각수가 부족했던 상태였으며, 엔진의 냉각장치부인 라디에이터 및 냉각 팬 부위의 손상이 가장 큰 것을 확인하였다. 배터리 부근에서 라디에이터 냉각팬 및 그 주위가 가장 많이 손상된 것으로 볼 때 라디에이터 냉각 팬 배선부의 열화에 의해 화재가 발생된 것으로 판단된다. 이것은 자동차의 진동으로 인해 엔진의 냉각 팬 배선이 커넥터에서 분리되어 엔진의 배기측의 뜨거운 부분에 접촉되어 뜨거운 엔진배기부에 접촉되었고, 엔진의 과열된 열에 의해 배선이 융착되어 불이 붙어 화재가 발생된 것을 확인하였다. Fig.4는 라디에이터 냉각 팬 주위의 손상된 배선의 사례를 보여주는 것이다.



Fig. 4. Damaging example by firing of surrounding cooling fan in vehicle.

3.3.3. 고찰

엔진이 작동하는 동안 냉각시스템은 원활하게 작동하여야 한다. 엔진의 냉각수는 수시로 점검하여 필요시 보충하여야 한다. 또한, 냉각수의 양은 엔진이 차가울 때 냉각수 보조탱크 옆면에 표시되어 있는 적정 표시선의 중간에 맞추도록 한다. 냉각수의 부족액 농도가 해당 자동차의 규정을 초과하거나 부족할 경우에는 엔진 내부의 부식 및 과열의 가능성이 있으므로 세심한 점검이 필요하다. 운전자가 냉각수가 없는 상태로 운전하면 워터펌프의 고장 및 엔진의 소착 등의 원인이 되므로 관리에 만전을 기해야 한다. 또한, 냉각수는 시간이 지남에 따라 부동성능, 방청성능이 저하될 수 있다. 이러한 냉각수를 계속 사용하면 동과나 부식현상이 발생할 수 있으므로 정기 점검 주기표에 따라 냉각수를 교환하여야 한다.

IV. 결론

자동차 엔진 시스템의 전기적인 접촉불량에 의한 단락현상과 가연성 물질에 의한 화재를 사례별로 분석하고 이를 고찰하여 봄으로써 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 배터리에서 시동모터로 연결되어 있는 배터리 전원선과 자동변속기 중간에 배선을 고정시켜 주는 브래킷 볼트의 이완으로 차체와의 단락 현상에 의해 화재가 발생된 것을 확인하였다.

2) 배터리에서 시동모터 본선까지 가는 배선이 자동변속기 오일 팬의 위치에서 절연을 위해 감은 배선의 절연 테이프가 녹아 화재를 일으킨 것을 확인하였다.

3) 냉각 팬 배선이 자동차의 진동으로 인해 커넥터에서 분리되어 엔진의 열에 의해 배선이 용착되어 근처의 이물질과 결합하면서 화재가 발생된 것을 확인하였다

참고문헌

- [1] Chung Kyun Kim and IL Kwon Lee, "Failure Case Studies of Sensors for Electronic Controlled Engine in LPG Vehicle", KIGAS 14(4), 56-61, (2010)
- [2] IL Kwon Lee, Young Gyu Kim and Chang Ho Kook, "Study for Failure Cases on Engine Electronic control computer in Liquid Petroleum Gas Vehicle", KIGAS 15(6), 28-33, (2011)
- [3] IL Kwon Lee, Seung Hyun Cho, Han Goo Kim and Seung Chul Kim, "Study for Failure Examples of Injector, Idle Speed Actuator and Gasket in LPi System Vehicle", KIGAS 16(3), 48-53, (2012)
- [4] Robert Pribish, " The Fusible Link- A Method of Protecting Primary Wiring Under Short Circuit Conditions", SAE paper 650122
- [5] IL Kwon Lee, Chang Ho Kook, Moon Won Suh and Dong Hwa Jung, "Study for Fire Examples of LPG Leakage Including Fuel Hose, Injector and Pressure Regulator Connector in Vehicle", KIGAS 17(3), 8-13, (2013)
- [6] Ismat A. Abu-Isa, "Intumescent Thermoplastic Elastomer Fire Shield Material", SAE paper 2002-01-1318
- [7] Norman R. Byrd, Arthur Rojo and Stephen C. Amundson, "Fire Resistant Composites", SAE paper 2002-01-2957
- [8] IL Kwon Lee, et al., "Automotive Failure Diagnosis", Sun Hak, (2002)
- [9] Maintenance manual of Hyundai Motors, (2013)
- [10] Maintenance manual of Kia Motors, (2013)
- [11] Maintenance manual of GM Daewoo Motor, (2013)
- [12] Hyundai Motors, "Electronic Control Engine", (2011)
- [13] Dieter Wolpert and Markus Engelhaaf, "Cases Studied in Germany Examining the Effect of Recent Service Work on Vehicle Fires", SAE paper 2009-01-0009