



<응용논문>

냉각수 누설에 의해 발생한 승용차화재 사례의 분석

이 의 평*

전주대학교 소방안전공학과

Analysis of a Car Fire Caused by a Coolant Leak

Euiyeong Lee*

Department of Fire Safety Engineering, Jeonju University, Jeonbuk 55069, Korea
(Received 16 October 2018 / Revised 10 November 2018 / Accepted 12 November 2018)

Abstract : This study analyzed the cause of a foreign car fire. The high-priced car was filled with gasoline at a gas station and driven approximately 3 km. The fire occurred when the car turned left at the crossing. In order to investigate the cause of the fire, the black box video of the car that followed the foreign car was analyzed, as well as the CCTV of the gas station, which recorded the moments when the foreign car entered the gas station, when the car was filled with gasoline, and when it was started. The car service center repair records were analyzed, and the foreign car was investigated. Finally, it was proven that the foreign car fire was caused by coolant leak due to a defective coolant hose fastener.

Key words : Car fire(차량화재), Fire investigation(화재조사), Fire caused by coolant leak(냉각수 누설에 의한 화재), Fire case analysis(화재사례분석)

1. 서론

차량 엔진 냉각장치는 수냉식으로 실린더의 외측 주위에 있는 워터재킷 내에 물을 순환시켜 냉각시키고 있다.¹⁾ 냉각수가 엔진 실린더 주위를 돌며 엔진의 열을 식히는데, 기온이 낮을 때 냉각수가 얼어붙는 것을 막기 위해 물의 어는점을 떨어뜨리는 부동액을 혼합해서 사용한다.²⁾ 물은 0 °C에서 얼고 체적이 9~10% 정도 늘어나므로 동절기에 냉각수가 얼게 되면 엔진이 파손되기 때문에 이러한 빙결현상을 억제하기 위하여 냉각수에 부동액을 첨가한다.³⁾ 부동액은 모노-에틸렌 글리콜(C₂H₆O₂, MEG라 함), 모노-프로필렌 글리콜(C₃H₈O₂, PEG라 함), 다이-에틸렌 글리콜(C₄H₁₀O₃, DEG라 함)이 있는데, PEG는 MEG에 비해 독성이 낮으나 냉각 성능이 떨어져서⁴⁾ 많이 사용하지 않고, DEG는 빙점강하 측면에서 효과가 적으며 가격이 비싸므로 일반적으로 MEG가 사용되고 있다.⁵⁾

MEG는 인화성액체로 위험물안전관리법에서 정하는 제4류 위험물 중 제3석유류에 해당하여 화재위험이 있지만, 냉각수는 MEG와 물이 혼합되어 MEG가 희석(부동액

농도가 높을수록 비중이 높아져서 유동성이 떨어져 냉각 성능이 현저히 감소하며⁶⁾ 냉각수 중의 MEG 대 물의 최적 비율은 50% : 50%임⁷⁾되어 있으므로 차량 냉각수가 누출되더라도 화재위험이 없고 화재발생 사례가 없는 것으로 인식하는 경향이 있다.

이 논문에서는 냉각수 누설로 인한 차량화재 사례를 분석하여 소개하고 차량화재 조사기법을 제시할 목적으로 초고가의 외제승용차에서 냉각수가 누설되어 화재가 발생한 사례를 구체적으로 분석한다. 이 사건의 차량화재는 최근 BMW 화재로 인해 차량화재가 사회적 이슈가 되고 있는 중에 초고가 외제승용차에서 화재가 발생하여 언론의 주목을 받았던 화재사례이기도 하다.

차량화재 원인 판정은 건축물화재 조사 절차 및 방법을 그대로 적용하는데, 건축물화재 원인 판정은 발화개소를 판정한 후 발화개소 내에서 화재원인이 될 만한 요인들을 모두 열거한 후 가능성이 없는 것은 배제한 후 가능성이 높은 것을 구체적으로 검토하여 물증을 바탕으로 화재원인을 판정한다.^{8,9)} 이 논문에서도 이와 같은 방법으로 화재원인을 분석하여 판정한다.

Corresponding author, E-mail: krfirechief@jj.ac.kr This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium provided the original work is properly cited.

2. 냉각수 누설에 의한 승용차화재 사례의 분석

2.1 사건 개요 및 보존 상태 등

초고가 외제승용차(2013년식, 총주행거리 27,000 km 이내)가 7월 말 14:08경 주유소에서 가득 주유를 한 후 시내도로를 약 3 km 주행하여 교차로에서 좌회전 중 차량 뒤쪽에서 착화되어 119신고를 하여 소방대가 출동하여 엔진룸이 연소된 상태로 진화한 사건이다. 지방 도시의 시내도로 화재현장에서 트럭에 적재되어 고속도로를 통해 판매회사 서울 서비스센터로 운반된 후 지하1층 정비고 안에 비닐포장이 덮여 보관되어 있는 상태로 원인조사에 지장을 줄만한 사후 변형이나 변질의 우려 없는 보존 상태이었다.

이 사건 차량화재의 원인조사와 관련하여 조사과정에 보험회사로부터 사고접수 및 계약장서 사본, 리콜 조치 방법 및 절차서 사본, 리콜대상확인 서류 사본, 화재사고 확인서(주행 중 사고) 사본을 제공받았고, 차주(운전자)로부터 주유소 CCTV 녹화영상 파일, 화재상황이 촬영된 블랙박스 녹화영상 파일, 서비스센터와의 카카오톡 대화 내용 기록과 통화 녹음 파일, 점검정비 명세서 사본을 제공받았다.

2.2 제공받은 자료의 분석

보험회사에서 제공 받은 자료 중 화재사고 확인서 사본 등에 의하면 화재발생 20일 전에 서울 서비스센터에서 에어컨 라인(증발기, 콘덴서, 에어컨 라인) 전체와 크랭크 쉘 오일을 교체하였는데 이 작업과정 중에 엔진과 변속기를 내렸다고 하며, 차량 구입 후부터 화재발생시점까지 엔진오일과 변속기오일 교체 등 모든 정비를 서울 서비스센터에서 한 것으로 기술되어 있다.

주유소 CCTV 녹화 영상에 Photo. 1과 같이 이 사건 차량에 화재발생 당일 주유소에서 주유하기 전후의 차량 아래 바닥상태를 비교할 수 있고 주유하고 출발한 직후 바닥에 주유하기 전에 없던 이물질이 촬영되어 있고, Photo. 2와 같이 주유소 직원이 바닥에 흘러내린 이물질을 손으로 댄 후 코로 냄새를 맡은 장면이 촬영되어 있다.

블랙박스 녹화 영상은 이 사건 차량을 뒤따라오던 차량에서 녹화한 것으로 Photo. 3에 나타난 것처럼 이 사건 차량이 1차선에서 좌회전을 하는 순간 14:08:45에 뒤쪽 좌우측 바퀴 중간 부분에서 최초 착화되고, 착화 약 3초 후 우측으로 화염이 크게 확대되고 6초 후 길게 노면에 화염이 형성되고, 화염이 사라진 후 화염이 있던 노면에 희미한 흔적이 남아있으며, 화염은 진한 주황색이 아니고 약한 푸른빛이 있는 것으로 보아 엔진오일이나 휘발유(연료)가 연소할 때의 화염이 아니고 알코올이 연소할



Photo. 1 Before and after filling gasoline at the gas station



Photo. 2 A gas station staff checking the foreign matter



Photo. 3 Telerecording image of black box

때의 화염 모습과 유사하다. 차체 하부의 좌우바퀴 사이의 중간부분에서 최초 착화되어 화재가 발생한 후 좌회전 영향으로 화염이 우측으로 쏠리면서 화재가 우측으로 확대된 것으로 확인할 수 있다.

카카오톡 대화 내용은 차주가 화재발생 11일 전에 서울 서비스센터 측에 핑크색 액체가 차량에서 주차장 바닥으로 새어나왔고 촬영한 사진을 첨부하여 이 액체가 무엇인지 질문하고 서비스센터 측에서 다음날 핑크색 액체는 부동액이라고 답변하는 내용이고, 이 답변 직후에 차주와 서비스센터 측 통화 내용이 녹음된 파일에는 작년 11월 달에 리콜조치로 냉각수보조탱크를 교체해주었고 이 보조탱크 때문에 냉각수가 샌 것 같고 주행해도 되며 낮은 rpm에서 시동 꺼짐으로 인한 리콜이 8월 3일부

터 있으니 검사검사해서 그때 냉각수보조탱크를 교체하기로 하고 8월 9일 차량을 서울 서비스센터로 올려 보내기로 합의하는 내용이었다.

점검정비 명세서는 모두 서울 서비스센터에서 발행한 것으로 차량 구입 후 서울 서비스센터에서 정비하였음이 확인될 뿐만 아니라 2017. 11. 22.자 발행한 점검정비 명세서로 냉각수보조탱크를 무상으로 교체한 사실이 확인된다.

2.3 발화개소 분석

발화개소는 일반적으로 (1) 소손(소획) 정도의 강약, 연소확대 방향, 금속재 등의 변색·변형·용융상황, 화재패턴 등 화재현장에 남아 있는 흔적 조사, (2) 단락흔 조사, (3) CCTV 또는 블랙박스의 녹화영상, (4) 화재감지기 감지기록, (5) 세콤 기록, (6) 목격자 진술, (7) 현장활동 소방대원의 진술 등을 종합하여 판정한다.¹⁰⁾

Photo. 4와 같이 차량 외관은 앞바퀴 및 좌측(전후좌우는 운전석에 앉아 전방을 주시한 경우를 기준으로 함. 이하 동일함) 뒷바퀴부분은 연소되지 않은 상태이며, 뒤쪽 우측 타이어 인접부분을 중심으로 엔진룸 위의 보닛 등 가연물 일부가 연소된 상태로 차량 앞쪽과 좌측면은 연소되지 않은 상태이다.

차량 앞쪽의 트렁크 내부는 미연소상태로 배터리 (+) 단자가 임의로 분리되어 있는 상태로 발화와 관련지을 만한 특이점이 없어 발화개소에서 배제되며, 차실 내부는 연소피해가 거의 없으므로 발화개소에서 배제할 수 있다.

차량의 뒤쪽 좌측은 극히 일부만 연소된 상태이나 Photo. 5와 같이 우측부분은 상대적으로 심하게 연소된 상태로 우측 타이어 인접부분에서는 엔진오일 배관의 이음부분에서 오일이 누유되고 있어 계량컵으로 수집하고 있고 에어컨 콘덴서 일부가 연소 및 열변형된 상태이고 뒤쪽에 위치한 엔진룸의 보닛은 대부분이 연소된 상태로 우측 타이어 안쪽 부분을 중심으로 연소된 모습이며 범퍼 부분도 우측 타이어부분 안쪽에서 좌측 쪽으로 연소 확대된 모습이다.

Photo. 6과 같이 차량 하부는 뒤쪽의 우측 타이어 안쪽 부분을 중심으로 심하게 연소되거나 용융되어 있고 우측 앞쪽과 좌측으로 연소 확대된 특이점이 있으며, 우측 뒷바퀴 안쪽의 엔진오일 누유개소에 인접한 프레임 부분이 국부적으로 용융되어 있는 특이점이 있다.

연소잔해를 제거하고 우측의 뒤쪽 바퀴를 분리한 후 확인한바 엔진룸 우측의 바퀴 안쪽의 연소가 심함이 확인된다.

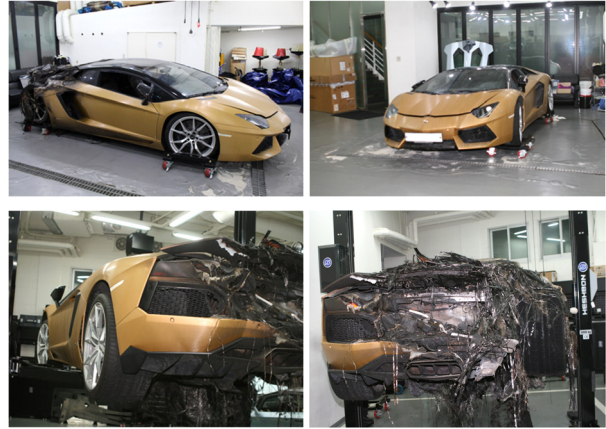


Photo. 4 Front, rear, left and right



Photo. 5 Strongly burnt rear side



Photo. 6 Bottom side

위에서 분석한 것처럼 연소 특이점만으로 보면 심하게 연소된 부위인 엔진룸 우측 뒤쪽을 발화개소로 판정할 수 있지만, 화재발생 당시 블랙박스 영상인 Photo. 3과 연관시켜보면 심하게 연소된 부위는 좌회전으로 인해 화염이 우측으로 확대되어 나타난 것이 확인되므로 심하게 연소된 뒤쪽 우측부위는 발화개소와 관련이 없는 것으로 분석할 수 있다.

발화개소는 Photo. 1, 2의 주유소 CCTV 영상과 Photo. 3의 블랙박스 영상 및 Photo. 4 ~ Photo. 6을 종합하면 뒤쪽 좌우 바퀴 사이의 중간 부위인 것으로 분석할 수 있다.

2.4 화재원인 분석

주행 중인 차량에서의 발화원인으로는 1) 인적요인, 2) 전기적 요인, 3) 엔진과열이나 브레이크 마찰열 등 기계적 요인, 4) 연료나 오일 누출, 5) 기타 가연물의 고온부 접촉에 의한 발화 등을 예상할 수 있는바¹¹⁻¹³⁾ 각각의 경우에 대하여 검토한다.

2.4.1 인적요인

뒤쪽 좌우 바퀴의 중간 부위로 판정한 발화개소는 주행 중 인위적 요인이나 불씨 취급 등에 의하여 착화될 수 없는 부위일 뿐만 아니라 블랙박스 영상을 통해서도 운전자나 동승자의 담배불이나 임의 착화 등 인적요인에 의한 발화 가능성은 배제된다.

2.4.2 전기적 요인

전기적 요인에 의한 발화의 경우에는 발화개소에 단락흔이나 국부적인 발열흔적 등 전기적인 특이점을 남기는 것이 일반적이다.¹⁴⁾

엔진룸의 연소된 가연물을 제거하고 조사한 결과 연소되거나 열변형된 하니스에 단락흔 등 특이점이 없으며, 우측 뒷바퀴를 분리하고 조사한 결과 연소된 하니스 등에서 발화원인과 관련지을만한 특이점이 없다. 또한 차체 하부의 언더커버를 제거하고 확인한바 발화원인과 관련지을만한 특이한 손상상태나 발열흔적 등 특이점이 식별되지 않으며 일부 연소된 하니스에서도 단락흔 등 특이점이 없다.

우측 뒷바퀴 안쪽의 국부적으로 심하게 연소된 부분에서 하니스 및 ECU의 연소형태가 식별되나 발화와 관련이 있다고 볼 수 있는 손상이나 단락흔 등 특이점이 없다.

연소된 하니스 등 전선이나 전기부품에서 단락흔이나 국부적인 발열흔적 등 특이점이 식별되지 않는 점으로 보아 전기적인 요인에 의한 발화 가능성은 배제될 수 있다.

2.4.3 기계적 요인

엔진 과열 흔적이 없고 바퀴와 브레이크 부분에서는 연소흔적 등 특이점이 식별되지 않는바 기계적 요인에 의한 발화가능성은 배제될 수 있다.

2.4.4 연료 또는 오일의 누유

엔진룸의 우측에 위치한 연료주입구 부분을 조사한바 Photo. 7과 같이 연료의 누설이나 넘침 등에 의한 흔적이 없다. 연료주입구 앞쪽에 위치한 연료통 부분의 연료주유관, 연료통 및 연료호스는 모두 금속으로 되어 있고 원형을 유지하고 있으며 연료라인 전체가 금속으로 되어 있고 손상이나 누설흔적이 없이 그대로 남아 있는바 연료누설에 의한 화재는 배제할 수 있다.

오일이 누유된 곳은 엔진오일이 누유되고 있는 부분 뿐이며, 이 부분을 분리하여 연결 부위 및 내부를 확인한바 일부 찌꺼기가 식별되고 개스킷이 연소되어 있으며, 리프트로 옮겨 각각의 엔진부 오일을 배출시켜 계량한 결과 13리터가 회수되었다.

Photo. 3의 블랙박스 영상과 관련시켜보면 엔진오일



Photo. 7 Fuel filler cap

누유는 화재 후 호스가 손상을 입어 누유된 것이 확실하므로 오일 누유에 의한 화재는 배제할 수 있다.

2.4.5 냉각수 누설

엔진 좌측에 위치한 냉각수 주입구는 Photo. 8과 같이 열변형되어 있고, 마개는 이탈되어 연소되지 않은 엔진룸 바닥에서 마개 일부가 연소 및 열변형이 된 상태로 발견되었으며 화재로 인해 마개 고정 부위가 용융되자 스프링 힘에 의해 이탈되어 엔진룸 바닥에 떨어진 것이다.

Photo. 9와 같이 X바(Bar)와 연결된 프레임은 좌측부분에 누유 흔적이 있고 우측부분에 수열(受熱) 흔적(○ 부위)이 있다. 수열 흔적이 있는 X바와 연결된 좌측 프레임의 하부에서 Photo. 10과 같이 이탈된 냉각수 고무호스(내경 10 mm)가 발견되며, 고무호스가 이탈된 금속파이프 부분은 화염으로 오염되어 있고 고무호스는 표면만 약간 연소된 상태로 이탈되어 있는 점을 고려하면 이 금속파이프의 끝부분은 화재발생 이전에 고무호스가 이탈



Photo. 8 Water reserver tank stopper

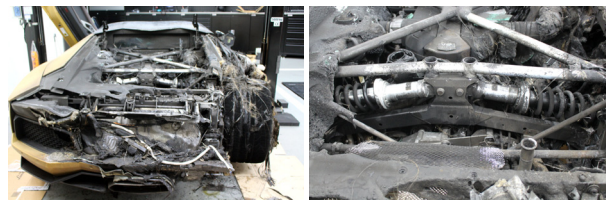


Photo. 9 The frames connected to the X bar

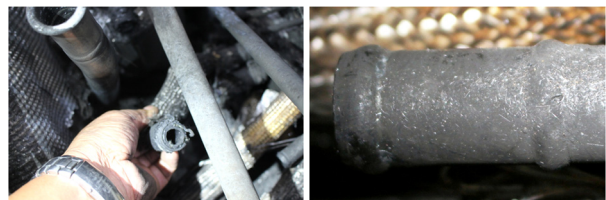


Photo. 10 Disjoined rubber hose from a metal pipe

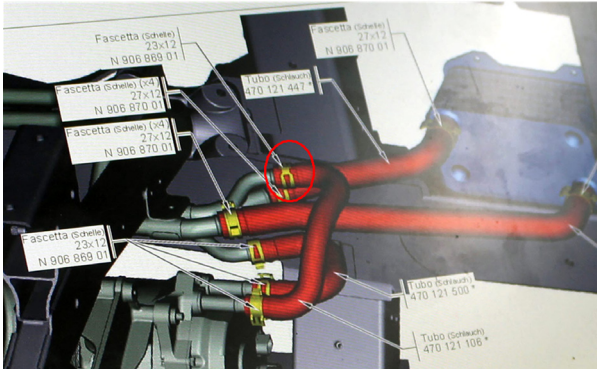


Photo. 11 Joining image between rubber hoses and metal pipes



Photo. 12 Disjoined rubber hose collected by evidence

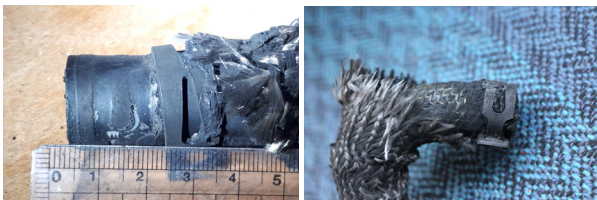


Photo. 13 Close-up of both end sides of disjoined rubber hose



Photo. 14 Close-up of insides of both end sides

된 상태에서 화재로 오염된 것으로 분석할 수 있다.

이탈된 고무호스는 메이커 제시자료(Photo. 11 참조)와 대조한 결과, Tubo(Schelle) 470 121 106* 호스이고 Fasetta(Schelle) 23×12 N 906 869 01(Photo. 11의 ○ 부분) 체결 부분이 이탈된 것으로 확인할 수 있다.

Photo. 12는 이탈된 고무호스(Photo. 11의 Tubo (Schelle) 470 121 106*)를 증거물로 회수한 것이다. Photo. 13의 좌

측사진은 Photo. 12의 일부러 분리한 쪽을, Photo. 13의 우측사진은 Photo. 12의 이탈된 부분 쪽을 근접 촬영한 것이다. 회수하기 위해 일부러 분리한 부분(좌측사진)은 고무호스(안쪽 직경 10 mm) 끝에서 5 mm 내측에 결속한 자국이 있고 이탈된 부분(우측사진)은 스프링 결속밴드가 고무호스 끝에 여분이 없이 체결되어 있음을 확인할 수 있다.

증거물로 회수하기 위해 일부러 분리한 부분의 끝 쪽 내부에는 Photo. 14의 좌측사진과 같이 압축흔과 그늘음이 없고, 이탈된 고무호스 끝 부분의 내부에는 Photo. 14의 우측사진과 같이 금속파이프 외부 턱에 의한 압축흔적이 형성되어 있고 그늘음 오염이 있는 점을 감안하면 조사과정에 이탈된 상태로 발견된 고무호스 부분은 화재 발생 이전에 금속파이프에서 이탈된 상태에서 화재 후에 화재 열을 받은 것으로 분석할 수 있다.

또한 카카오톡 대화 내용 중 서비스센터 측에서 차주에게 냉각수 누설을 확인해주고 있는 점, 주유소 CCTV 녹화영상에서 이 사건 차량이 주유했던 위치의 주차장 바닥에 주유하기 전에 없던 이물질이 주유 직후에 있고 이 이물질을 주유소 측에서 냄새 맡아 확인하고 있는 점, 이물질이 있는 주유소 바닥 위치가 주유 당시 이탈된 냉각수 고무호스 위치와 일치하는 점을 연관시켜 보면 이 이물질은 냉각수로 분석(추정)할 수 있고 냉각수는 주유 당시를 포함하여 화재발생 이전에 이미 누설되고 있었던 것으로 분석(추정)할 수 있다.

냉각수 금속파이프와 고무호스 접속 부위는 고무호스를 금속파이프 끝의 안쪽 턱이 있는 부분까지 깊숙이 끼워 넣고 금속파이프 안쪽 턱과 바깥쪽 턱 사이에서 스프링밴드로 체결하게 되어 있으나(Photo. 10의 우측 사진 참조) 고무호스를 금속파이프의 안쪽 턱이 있는 부위까지 깊숙이 끼우지 않고 금속파이프 외부 턱이 있는 부위 밖에서 스프링밴드가 고무호스 끝에 체결되어 있어서 냉각수 내부 압력(1 bar 정도)과 진동 등에 의해 고무호스가 금속파이프에서 이탈된 것으로 분석할 수 있다.

냉각수의 만충 상태는 14리터 정도이나 남아있는 잔량을 확인한 결과 약 1리터만 남아 있었다.

서론에서 언급한 것처럼 차량 엔진 냉각을 위한 냉각수는 동과방지를 위해 부동액(에틸렌글리콜)을 50% 정도 혼합하여 사용하고 있으므로 냉각수가 누출되어 배기관 등 고온표면에 뿌려지더라도 화재위험성이 없는 것으로 인식하는 경향이 있다. 그러나 냉각수가 누설되어 고온표면에 뿌려지면 물의 비등점이 에틸렌글리콜의 비등점보다 낮기 때문에¹⁵⁾ 물이 에틸렌글리콜보다 빨리 증발되어 희석된 냉각수가 연소하며, 물이 증발되면 남아 있는 에틸렌글리콜에 착화된다.^{16,17)} 냉각수에 토치화염을 가하면 물이 비등하여 증발한 후에 불이 붙는 실험이 있

고,¹⁸⁾ 10%~20% 부동액이 들어 있는 냉각수를 연소시키는 실험에서 약 1000 °F에서 자동발화하였고 화염은 거의 색깔이 없고 짧은 시간동안 유지되었다.¹⁹⁾ 냉각수가 차량화재 연료로서 작용함을 밝힌 논문도 있다.²⁰⁾

이 화재 사건의 경우 냉각수 호스가 화재발생 전에 이탈된 상태에서 화재로 연소된 점, 이탈된 호스 위쪽 차체에 수열변색흔이 있는 점, 이탈된 냉각수 호스 아래쪽에서 주행 중 착화된 점, 엔진오일이나 휘발유와 다른 알코올 연소형태와 유사한 불꽃을 보이는 점, 냉각수가 14리터 중 1리터만 회수되는 점, 냉각수 중 50%를 차지하는 에틸렌글리콜(부동액)은 연소범위 3.3~15.3 Vol %, 비등점 197.6 °C, 인화점 111 °C, 발화점 398 °C인 점^{21,22)}을 감안하면 냉각수가 누출되어 촉매 등 고온부에 접촉되어 에틸렌글리콜(부동액)이 기화되면 발화될 수 있으므로 냉각수의 누출을 화재원인으로 분석할 수 있다.

냉각수 고무호스의 이탈된 부분 체결상태가 허술하게 체결된 시점이 제조과정에서 비롯된 것인지 정비과정에서 비롯된 것인지는 이를 판단할만한 기준이나 시험방법이 없어 판단이 불가한 상태이다.

2.4.6 화재원인 판정

이 사건 차량의 화재는 냉각수 금속파이프와 고무호스 연결 부위의 체결 불량으로 화재발생 이전에 체결부위가 이탈되어 누출되는 냉각수 중의 부동액(에틸렌글리콜)이 기화되고, 기화된 가연성 증기가 배기관 등에 접촉되어 착화 발화된 것으로 판단된다.

그리고 차주가 제공한 자료(카카오톡 대화, 통화 녹음 파일, 점검정비명세서, 주유소 CCTV 녹화영상)를 통해 화재발생 원인(고무호스 체결불량으로 냉각수 고무호스 이탈)은 차주와는 관련이 없는 것으로 판단된다.

3. 결론

주유소에서 주유를 한 후 3 km 정도 주행하여 교차로에서 좌회전 중 발생한 승용차화재의 원인을 분석하여 다음과 같은 결론에 도달하였다.

- 1) 블랙박스 녹화 영상 분석, 주유소 주유 전후의 CCTV 녹화 영상 분석, 차량조사 분석 등을 통해 이 사건 화재는 냉각수가 누출되어 발생한 화재임을 입증하였다.
- 2) 냉각수가 누출된 것은 냉각수 금속파이프와 고무호스 접속 부위에서 고무호스를 금속파이프 끝의 안쪽 턱이 있는 부분까지 깊숙이 끼워 넣고 금속파이프 안쪽 턱과 바깥쪽 턱 사이에서 스프링밴드로 체결하여야 되나 고무호스를 금속파이프의 안쪽 턱이 있는 부위까지 깊숙이 끼우지 않고 금속파이프 외부 턱이 있는 부위 밖에서 스프링밴드가 고무호스 끝에 체결되

어 있어서 냉각수 내부 압력과 진동 등에 의해 고무호스가 금속파이프에서 이탈되었기 때문이다.

- 3) 냉각수가 누출된 고무호스는 차주나 운전자가 확인할 수 있는 위치에 있지 않고 엔진까지 내리는 정비를 받은 후 20일 만에 발생한 화재이므로 차주나 운전자에게는 화재발생 책임이 없다.

이 논문이 차량화재조사 기술이나 연구 수준을 높이는 데 기여하였으면 한다.

References

- 1) S. H. Lee, J. S. Lee, Y. G. Jeong and S. I. Hong, Basic Automotive Engineering, Golden-Bell, Seoul, p.100, 2013.
- 2) W. H. Shin, M. B. Kim, M. J. Kim, M. S. Park, H. S. Shin, M. D. Eom, J. D. Lee, R. M. Jeon, D. G. Jeong, D. H. Jeong, M. S. Ji and S. Chae, Automobile dictionary, Iljinsa, Seoul, p.76, 2012.
- 3) C. M. Jeong, Automotive Structural Engineering, 2nd Edn., Mijeon Science, Seoul, p.85, 2013.
- 4) T. Y. Ryu, E. H. Lee and J. G. Choi, "Comparison of Engine and Vehicle Cooling Performances with Ethylene Glycol Coolant and Propylene Glycol Coolant," Transactions of KSAE, Vol.7, No.2, pp.193-201, 1999.
- 5) J. H. Kim, Automotive Gasoline Engine, 3rd Edn., Golden-Bell, Seoul, pp.336-338, 2015.
- 6) S. I. Hong, Effect of Antifreeze Concentration to Exhaust Gas in Engine Coolant, Ph. D. Dissertation, Chosun University, Gwangju, p.2, 2009.
- 7) T. Y. Ryu, S. Y. Sin and J. K. Choi, "Effect of Antifreeze Concentration on Engine and Vehicle Cooling Performance," Auto Journal, KSAE, Vol.16, No.6, pp.1-8, 1994.
- 8) E. P. Lee, "Analysis of a Car Fire Case Related with Recall," Journal of Scientific Criminal Investigation, Vol.12, No.3, pp.190-196, 2018.
- 9) E. P. Lee, "Analysis of a Foreign Car Fire That Occurred during Idling in a Parking Lot," Journal of Scientific Criminal Investigation, Vol.12, No.2, pp.122-129, 2018.
- 10) E. P. Lee, "A Study on Judgement Methods of Fire Origin in Fire Investigation," Proceedings of 2017 Fall Annual Conference, Korean Institute of Fire Science & Engineering, pp.83-84, 2017.
- 11) E. P. Lee, "Analysis of a Car Fire Caused by a Fuel Leakage from the Common Rail," Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation, Vol.18, No.4, pp.225-231, 2018.

- 12) E. P. Lee, "Cause Analysis on Motor Vehicle Fires," Proceeding of 2010 Autumn Annual Conference, Korean Institute of Fire Investigation, pp.31-59, 2010.
- 13) E. P. Lee, "Analysis of Bus Fire That Broke Out During Waiting for Traffic Light," Proceeding of 2014 Autumn Annual Conference, Korean Institute of Fire Science and Engineering, p.108, 2014.
- 14) E. P. Lee, "Analysis of Fire Cause and Actual States of Automotive Fire," Safety World, The Korean Society of Safety, Vol.7, No.1, pp.53-54, 2011.
- 15) International Association of Fire Chiefs, Fire Investigator, 4th Edn., Johns & Bartlett Learning, Burlington, p.379, 2016.
- 16) B. Hagerty and S. Peranteau, "Vehicle Fluid Flammability Tests," Fire & Arson Investigator Journal, p.48, 2005.
- 17) V. Babrauskas, Ignition Handbook, Fire Science Publishers, Issaquah, p.695, 2003.
- 18) Lee S. Cole, The Investigation of Motor Vehicle Fires, 4th Edn., Lee Books, California, pp.95-96, 2001.
- 19) G. J. Barnett, Automotive Fire Analysis, 2nd Edn., Lawyers & Judges Publishing Company, Arizona, pp.44-45, 2008.
- 20) W. C. Hull, C. Robertson, J. Mullen, J. Stardling and B. Sidwell, "Analysis of Ethylene Glycol-Based Engine Coolant as a Vehicle Fire Fuel," International Symposium on Fire investigation Science and Technology, pp.263-274, 2008.
- 21) International Association of Fire Chiefs, Fire investigator, 4th Edn., Johns & Bartlett Learning, Burlington, p.372, 2016.
- 22) NFPA(National Fire Protection Association), NFPA 921 Guide for Fire and Explosion Investigations, p.291, USA, 2017.