소화약제를 이용한 자동차 엔진룸 화재 실험에 관한 연구

한용택 · 김동호* · 권성필†

한국소방산업기술원, *(주)마스테코

An Experimental Study on the Automobile Engine Room Fire Using the Extinguishing Agents

Yong-Taek Han · Dong-ho Kim* · Sung-pil Kwon†

Korea Fire Institute

*Masteco Industry C., LTD.

(Received November 14, 2013; Revised May 20, 2014; Accepted June 13, 2014)

요 약

자동차의 엔진룸의 내부를 살펴보면 여러 가지의 장치 및 장비가 복잡하게 설치되어 있고 각종 오일 등의 인화물질을 포함하고 있어 재발화 가능성이 매우 높다. 또한, 폭발가능성도 높기 때문에 운전자나 탑승자가 보닛을 열고 엔진룸에 직접 분말 소화기를 분사하는 방식으로는 한계가 있다. 따라서 엔진룸 내부에서 화재를 감지하여 소화약제를 분사한 뒤, 화재를 진화하는 소화시스템과 엔진룸 내부의 고열에 견딜 수 있고, HFC-227ea를 포함하는 충분한 점성을 가진 폼 형태의 소화약제를 개발 및 시험하였다. 그리고 포소화약제가 가지고 있는 소화원리인 질식 및 냉각효과와 HFC-227ea가 가진 부촉매효과를 동시에 이끌어 내고, 소화 후에도 분말 소화기처럼 잔존물에 의한 2차 피해가 없는 맞춤형 소화약제를 개발하였으며, 차량을 이용한 충돌실험을 통하여 방출이 완료된 후에도 이물질 없이 소화약제를 제거할 수 있는 장점이 존재하는 실험결과를 획득하였다.

ABSTRACT

Several complex devices and equipments are installed in the car's engine room, including various kind of oils or other flammable materials. So re-ignition is very likely to take place in it. In addition, it is restrictive for the driver or the occupant to open the bonnet and to spray the fire extinguisher in the engine room due to the high possibility of explosion. Therefore, a fire extinguishing system, which can detect a fire and inject the fire extinguishing agent to extinguish it, and fire extinguishing agents including HFC-227ea, which can stand the high temperature within the engine room and hold the viscosity sufficient to keep it in the kind of foam, were developed and tested. And the suffocation effect and the cooling effect come from the fire extinguishing principle of the foam fire extinguishing agent and the inhibitor catalyst effect come from the one of HFC-227ea was led simultaneously, and fire extinguishing agents without the secondary damage caused by residuals after the fire extinguishment like a case of the powder fire extinguishing agent, were developed. And experiments using a vehicle collision after the discharge is complete, foreign material can be removed without extinguishing the advantage that experimental results obtained.

Keywords : HFC-227ea, CAFS, Extinguishing agent, Fire suppression, Fire-extinguishing system

1. 서 론

2011년 상반기 대한민국의 장소별 재산피해 발생현황을 분석한 자료에 따르면 차량화재는 전체 발생 화재의 8%가 발생하였고 2011년 6월 한 달 조사 자료에서 보면 2,100건으로 전년도 발생 건수 1,547건 대비해 약 38.5%가 증가하였다⁽¹⁾. 따라서 차량에서 발생하는 화재를 감소시키기 위해선 먼저 화재의 원인을 면밀히 조사하고 이를

방지하기 위한 대책 마련이 강구되어야 할 것으로 판단된다. 자동차의 화재 발생⁽²⁻⁴⁾은 통상적으로 자동차 사고에 의한 화재를 포함하여 자체의 구조적인 관점에서 다음의 4가지의 원인을 들 수 있다. 첫째, 전기장치의 합선 등으로 발생하는 차량화재 둘째, 엔진과열에 의한 차량화재 셋째, 이상 연소에 의한 차량화재 넷째, 배기열과 마찰열에 의한 차량화재 위에서 이야기한 4가지의 원인과 차량 자체의 결함 또는, 사고로 인하여 2차적으로 발생하는 매년

†Corresponding Author, E-Mail: rthan102@hanmail.net
TEL: +82-31-289-2957, FAX: +82-31-287-9067

ISSN: 1738-7167
DOI: <http://dx.doi.org/10.7731/KIFSE.2014.28.4.001>

크고 작은 차량 화재는 해마다 되풀이 되고 있고 앞으로도 언제든지 발생하여 우리의 소중한 생명과 재산을 위협할 것이다.

차량용 소화시스템은 세계적으로 많은 연구와 제품 개발이 시도되고 있다. 그러나 대부분의 기술이 많은 유사성을 지니고 있고 실제로 차량의 사고 시 전기적 신호에만 의존하는 형태가 대부분이어서 커다란 외부적 충격이나 차량의 엔진부분이 심각한 손상으로 인하여 전기적인 신호전달에 문제가 발생하였을 경우 소화시스템은 제대로 작동하지 못하고 만다. 또한, 차량엔진 화재를 효과적으로 진압할 수 있는 소화약제는 아직까지 개발이 미흡한 상황이다. 차량 엔진화재를 진압하기 위해서는 가스나 분말 형태로는 엔진, 에어컨 배관, 라디에이터 등의 차량 보닛 내 공간의 조밀성을 고려할 때 효과적으로 화재 진압이 어렵다.

위와 같은 차량용 소화시스템 개발을 통하여 자동차에 화재의 특성을 이해하고 세계 여러 나라에서 연구 중인 차량용 소화 장치를 점차 가속화되어 가고 있는 자동차 분야의 첨단화 시스템에 발맞추어 실용화 단계의 제품을 개발함으로써 가시적인 성과를 거둘 수 있고 이를 안전 분야까지 확대 적용하는 발판을 마련할 수 있으며 향후 본격적인 제품 경쟁체제에 돌입하게 되면, 본 기술 개발을 토대로 축적한 기술력을 바탕으로 기술적 우위를 선점하기 위함이다.

따라서, 본 연구에서는 차량 엔진화재를 효과적으로 진

압할 수 있는 소화약제의 특성을 파악함으로써 엔진화재에 따른 피해를 최소화할 수 있으며 유해가스⁽⁵⁾ 감지시스템과 소화시스템을 접목할 새로운 안전시스템으로 발전하여 새로운 시장분야를 창출하여 보다 안전한 차량의 안전성을 확보함과 동시에 자동차 화재로 인한 개인 또는 사회적 손실을 줄이는 계기가 될 수 있고 한 걸음 나아가 차량 안전 분야의 시스템이 갖추어야 할 조건 및 방향을 제시할 수 있을 것이다.

또한, 자동차의 엔진룸 내부를 살펴보면 여러 가지의 장치 및 장비가 복잡하게 설치되어 있고 각종 오일 등의 인화물질을 포함하고 있어 재발화 가능성이 매우 높고 폭발 가능성 또한 높기 때문에 분말소화기와 같이 운전자나 탑승자가 보닛을 열고 엔진룸에 직접 분사하는 방식의 소화기로는 한계가 있을 것으로 판단된다. 따라서 엔진룸 내부에서 화재를 감지하여 자동으로 소화약제를 분사하여 화재를 진화하는 소화시스템과 엔진룸 내부의 고열에 견딜 수 있고 충분한 점성을 가진 폼 형태의 HFC-227ea⁽⁶⁾ 소화약제를 포함하는 새로운 개념의 소화약제를 개발하여 포 소화약제가 가지고 있는 소화원리인 질식 및 냉각효과와 HFC-227ea 소화약제가 가진 부촉매 작용을 동시에 이끌어 내고 소화 후에도 분말 소화기처럼 잔존물에 의한 2차 피해가 없는 맞춤형 소화약제의 특성 파악을 본 연구의 목적으로 한다. 특히, 자동차의 대중교통 수단인 버스나 택시 그리고 대형 화물차의 안전에 크게 기여할 수 있을 것으로 판단한다.

Figure 1. The location of temperature sensor and the installation of nozzle in the fire extinction test vehicle.

2. 실험방법

2.1 자동차 엔진룸 화재실험 방법

엔진룸 화재⁽⁷⁾는 외부에서 화재가 전이되는 경우와 내부에서 화재가 발생하는 경우를 생각할 수 있다. 외부에서 전이되는 화재를 실험하기 위해서는 엔진룸 아래에 연료를 설치해 놓고 점화시켜서 엔진룸을 가열하는 방식이며, 이 방법은 엔진룸 내에서 직접 점화하는 방식보다 복잡하지만, 더 효과적이라고 볼 수 없다. 따라서 엔진룸 내부에서 화재가 발생하는 것으로 가정하고 실험을 실시하였다. 또한, 편의상 우선 액체연료에 점화되어 고체연료로 전이되는 화재를 실험하였다. 단순성 및 재현성을 높이기 위해서 165 mm × 165 mm 크기의 정사각형 팬에 노르말 헵탄

150 mL를 담아 놓고 점화하는 방식으로 실험을 실시하였다. 본 실험에서는 편의상 엔진룸을 열고 한쪽 끝에 불붙은 나무막대를 이용하여 배터리를 제거하고 설치한 휘발성 가연물에 직접 불꽃을 접촉시켜 점화시킨 후에, 바로 보닛을 닫고 약 3분 동안의 화재를 진행시키고, 엔진룸 내에 설치된 소화 장치를 수동으로 작동시켜서 화재를 진압하였다. 노르말 헵탄 150 mL는 165 mm × 165 mm 크기의 정사각형 팬에서 대략 3분 15초 정도 타는 양이다.

2.2 자동차 화재 모니터링 시스템

화재시험은 랩뷰 프로그램을 이용하여 자체 제작한 모니터링 시스템을 통하여 엔진내부에 온도센서를 설치하고 차량 실내에 컨트롤러를 설치하여 일산화탄소 및 산소농

1st car fire test

Emission conduit - Ø10 Nozzle - 4EA Discharge hoses - 1/4 inch		The structure of extinguishing vessel

Car installation pictures		The photo of the ready to experiment	
Testing location	Korea Fire Industry	Test vehicle of extinguish	H company Mid-sized car
Fire extinguisher capacity	13 L	Duration of emitting	60 s
The amount of foam extinguishing agents	7 L (10%)	The size of a fire origination fan	165 x 165 x 50
The pharmaceutical amount of extinguishing gas	3.5 kg (HFC-227ea)	Heptane amount	150 mL (3 min and 15 s)

Figure 2. 1st appearance ready to fire test.

도를 측정하였다. 온도센서는 내부 풀업저항을 통하여 온도센서의 온도별 저항변화를 읽어서 실시간으로 표시하였으며 일산화탄소와 산소는 표준 계측기를 사용하여 나온 출력데이터를 0~5 V의 출력 값으로 받아서 랩뷰에 표시하였다.

2.3 화재 시험차량

Figure 1에서는 시험에 이용된 차량의 모습을 보여주고 있으며, 그림과 같이 온도센서를 사면 구석에 각각 1개씩 설치하였고 실내 운전석 앞자리에 1개를 포함하여 총 5개를 설치하였고 일산화탄소의 센서 농도는 실내 운전석 앞자리에 설치하여 모니터링하였다.

2.4 1차 소화시험

1차 소화시험은 초기의 compressed air foam system (CAFS)용⁽⁸⁾ 포소화약제를 기반으로 HFC-227ea 소화약제와 혼합하는 방식으로 이루어졌다. 자동차 엔진룸 화재의 경우 연료로 사용될 수 있는 물질은 엔진룸 안에 들어있는 연결용 고무, 플라스틱 등과 같은 고체연료와 각종 밸브와 연결부의 노화, 균열, 손상 등으로 인해 누출된 연료나 엔진오일, 브레이크 오일, 변속기 오일, 파워스티어링 오일, 기어오일 등과 같은 액체연료가 있을 수 있다. 더욱이 누전이나 과열등으로 인해 고체연료에서부터 시작되는 화재

도 흔히 있지만, 편의상 우선 액체연료에서부터 점화되어 고체연료로 전이되는 화재를 모사하여 실험하였다.

시험 차량의 엔진룸에 165 mm × 165 mm의 팬 시험모형에 노말 햅탄 150 mL를 엔진룸 안에 설치하고 불을 붙인 뒤 보닛을 닫고 약 4 min 30 s의 예비연소를 거쳐 화재를 진압하는 방식으로 진행하였다. 전체 과정은 Figure 2와 같다.

2.5 2차 및 3차 소화시험

Figure 3의 사진은 2차 화재시험의 준비과정을 보여주고 있다. 2차 화재시험은 소화시험장에서 진행하였으며, 시험 차량의 엔진룸에 165 mm × 165 mm의 팬시험 모형에 노말 햅탄 150 mL를 엔진룸 안에 설치하고 불을 붙인 뒤 보닛을 닫고 3 분간의 예비연소를 거쳐 화재를 진압하는 방식으로 진행하였다. 실내에는 내부온도 측정센서와 일산화탄소 및 산소농도를 정확히 측정하기 위하여 차량 상부에 설치하였으며 엔진룸에는 온도센서 4개를 사 각면에 설치하였다.

3차 화재시험은 시험차량의 엔진룸에 2차 시험과 마찬가지로 가로 165 mm × 165 mm의 팬 시험모형에 노말 햅탄 150 mL를 엔진룸 안에 설치하고 불을 붙인 뒤 보닛을 닫고 약 3분간의 예비연소를 거쳐 화재를 진압하는 방식으로 진행하였다.

(a) The photo of sensor installation location

(b) The photo of 2nd test vehicle

Figure 3. The photos of 2nd vehicle fire test.

(a) Prepared crash test vehicle

(b) Nozzle and fire-extinguishing system installed

Figure 4. Prepared crash test vehicle, installed nozzles and fire-fighting system.

2.6 소화장치 충돌시험

자동차 충돌시험은 일반적인 자동차의 충돌 시 시스템의 오작동 또는 정상작동 여부와 제품설계시의 충격에 취약한 밸브와 용기의 결합부위 및 피팅류의 결합부위 등의 안정성을 점검하고 설계 결함을 보완하여 제품의 신뢰성을 향상 시키고자 실시하였으며 실험은 한국교통안전공단 충돌시험장에서 진행하였다. 충돌시험은 소화 장치를 트렁크 안쪽에 설치하고 엔진룸에 노즐을 설치한 후 충돌 시 데이터 수집을 위한 센서 및 고속카메라 속도계, 하중 센서 등을 장착하고 와이어를 전륜축에 설치하고 당겨서 178 m 이상의 레일을 따라 달여와 시속 49 km 속도로 충돌시켰다. 이 속도는 통상적으로 자동차 내부의 장치 등의 성능시험 시에 요구되는 기준이다⁽⁹⁻¹¹⁾. 엔진룸에는 좌우 각각 2개의 노즐을 설치하였으며 Figure 4와 같이 트렁크 안쪽에 HFC-227ea 소화약제를 3.5 kg을 충전하였고 포소화약제는 ECOFOAM V1 수용액을 7 L로 충전하였다.

3. 결 과

3.1 1차 소화시험

1차 소화 실험을 통하여 얻어낸 결론은 엔진룸 내에서 발화하여 일어난 차량화재는 소화전에 3분을 초과하여 5분 가까이에 이르면 화재는 차량엔진룸 전체로 번지며 기하급수적으로 커진다는 것이다. 따라서 차량은 초기화재 발생을 조기에 효과적으로 검출하고 화재를 진화하는 것이 가장 효과적이라고 할 수 있다.

화재시험 시작 5분 이내에 엔진룸이 거의 모든 부분에 화재가 번졌으며, 헤드램프를 비롯하여 엔진룸 하부까지 거의 대부분에 화재가 전이 된 것을 확인할 수 있었다. 또한, CAFS용 포소화약제를 이용한 소화 시험 후에는 소량의 소화약제를 가지고 소화해야 하는 자동차 화재에 있어서 내열성이 매우 취약하여 고열을 동반하는 화재에 있어서는 적합하지 않은 것으로 판단되었고, 한편 HFC-227ea 소화약제를 이용한 고발포용 포 소화약제를 개발함에 있어 포의 안정도와 내열성능에 중점을 두었다.

3.2 2차 소화시험

Figure 5의 그림에서 점화 후 엔진룸의 점화부위의 온도는 800°C까지 상승하며 대각 끝부분의 온도는 비교적 천천히 오르는 것을 볼 수 있다. 소화약제가 방출되면서 온도는 급격히 떨어졌고 방출 20 s 지점에서 완전히 소화되었다. 소화용기의 방출시간은 방출시작 시점에서 40 s 전까지 방출이 완료되었다. 위 그래프에서 엔진 3의 온도가 소화완료 후에도 여전히 온도가 높은 것을 볼 수 있는데 확인결과 녹아내린 휴즈 박스에 온도센서가 파고들면서 축적된 열에 의한 것으로 확인되었다. Figure 6의 데이터를 보면 화재시험 차량의 실내온도와 산소농도 및 이산화탄소는

Figure 5. The data of 2nd fire test.

Figure 6. The vehicle indoor concentration and temperature of 2nd fire test.

큰 변화가 없었으며 일산화탄소의 농도가 서서히 상승하기는 하였으나 최대 140 ppm 정도로 단시간에는 인체에 영향을 크게 미칠 정도는 아닌 것으로 판단된다⁽¹²⁻¹⁴⁾.

3.3 3차 소화시험

Figure 7의 결과에서 보여주듯이, 소화시험 3차 테스트에서는 2차 소화시험과 비슷한 양상을 보이며 소화약제가 방출되면서 급격하게 온도가 떨어지는 것을 볼 수 있다. 방출완료 시점에서 10 min간 방치하였으나 재 발화는 발생되지 않았고 완전히 소화되었음을 확인하였다. 차량내부의 온도 및 산소농도, 일산화탄소 또한 2차 시험과 마찬가지로 크게 변화가 없었으며 일산화탄소가 20 ppm 정도까지 상승하였으나 화재 진화 후 농도가 떨어지는 것을 Figure 8의 결과그림에서 확인할 수 있었다.

3.4 소화장치 충돌시험

한편, 충돌시험 당시의 결과를 살펴보면, 충돌시험 후 소화 장치의 약제누설이나 압력누설은 발생하지 않았고

Figure 7. The data of 3rd fire test.

충격에 의한 방출 없이 정상상태를 유지하였다. 배관의 이음부분의 누설이나 이탈, 일그러진 부위도 없었다. 동작 상태를 확인하기 위하여 충돌차량을 이동하여 수동으로 기동시켜 소화약제를 방출하였다.

소화약제는 40 s간 방사되었고 보닛이 충돌 시의 충격으

Figure 8. The vehicle indoor concentration and temperature of 3rd fire test.

로 휘어져 있어 틈새사이로 소화약제가 분출되는 부분을 관찰할 수 있었다. 방출이 완료된 후 에어로 불어내면 잔존하는 이물질 없이 소화약제를 제거할 수 있는 장점이 있는 것을 알 수 있다.

Figure 9. Car burning test with time.

3.5 자동차 전소시험

Figure 9의 결과는 시간에 따른 자동차 전소시험의 모습을 보여주고 있다. 결과와 같이 자동차 전소시험은 자동차 엔진룸 내부에 헵탄 150 mL 적신 후 점화한 뒤 보닛을 닫고 엔진룸 내부에서 화재가 발생한 상황을 가정하여 시간 별로 전이되어 나가는 속도와 화재의 성상을 파악하고 특성을 이해하여 제품에 반영하기 위해 현대사의 중형 승용차를 대상으로 시험하였다.

차량의 엔진룸 화재 발생 후 1시간 정도면 차량전체가 전소되었고, 일반적인 자동차 화재와 같이 발생초기 3 min에서 5 min 이내에 엔진룸 내부 전체로 화염이 진행된 것을 볼 수 있다. 따라서 자동소화 장치는 전소시험 데이터와 소화시험 데이터에서 볼 수 있듯이 최대 화재발생 3분 이전에 화재를 감지하고 소화하여야 효과가 있을 것으로 판단된다.

4. 결 론

1. 차량의 엔진룸 화재 발생 후 1시간 정도면 차량전체가 전소되며 발생초기 3 min에서 5 min 이내에 엔진룸 내부 전체로 화염이 진행된 것을 볼 수 있다. 따라서 자동소화 장치는 최대 화재발생 3분 이전에 화재를 감지하고 소화하여야 효과가 있는 것을 알 수 있었다.

2. 800 °C 이상의 고열을 동반하는 자동차 화재에 있어서 CAFS 용 포 소화약제를 이용한 소화약제는 내열성이 매우 취약하여 적합하지 않은 것으로 확인하였으며, 포의 안정도와 내열성능에 중점을 둔 HFC-227ea 고발포용 차량용 포 소화약제의 개발이 필요함을 확인할 수 있었다.

3. 충돌실험의 경우, 소화 장치의 약제 누설이나 이탈, 일그러진 부위도 없는 것으로 파악되었으며, 방출이 완료된 후 에어로 불어내면 잔존하는 이물질 없이 소화약제를 제거할 수 있는 장점이 있는 것을 확인할 수 있었다.

References

1. National fire data system Korea, 2011 fire statistics (2011).
2. S. H. Lee, C. S. Baem, Y. P. Lee and T. S. Han, "Effects of Engine Operating Conditions on Catalytic Converter Temperature in an SI Engine", SAE 2002-01-1677 (2002).
3. S. K. Oh and B. C. Moon, "A Study on Prediction of flow Characteristics and Performance of a Heavy-Duty Diesel Engine with Continuously Regeneration Method PM Reduction", KSAE, Vol. 12, No. 2, pp. 52-57 (2005).
4. Michael Walsh, "Global Trends in Diesel Particulate Control-A 1995 Update", SAE 950149 (1995).
5. J. H. Ku, "An Experimental Study on the Ventilation Performance to Enhance Removal Efficiency of Indoor Harmful Gases", Journal of Korean Institute of Fire Science & Engineering, Vol. 23, No. 5, pp. 117-124 (2009).
6. J. W. Lee and H. Y. Kim, "Vapor-Liquid Equilibrium Measurement for 1,1,1,2,3,3,3-Heptafluoropropane (HFC-227ea) Mixture with PTx Method", Korean Institute of Chemical Engineers, Vol. 40, No. 4, pp. 457-460 (2002).
7. J. B. Sohn, H. S. Kwon, J. I. Lee and D. M. Choi, "A Case Study on the Investigation of Vehicle Fire According to Drive Train", Korean Institute of Fire Investigation, Vol. 11, No. 1, pp. 83-88 (2005).
8. J. W. Lee, W. S. Lim, S. S. Kim and D. H. Lee, "A Study on Fire Extinguishing Performance Evaluation of Compressed Air Foam System", Korean Institute of Fire Science & Engineering, Vol. 26, No. 5, pp. 73-78 (2012).
9. K. H. Kim, S. W. Seo, E. D. Lee and S. W. Hwang, "Experimental Study on Crash Characteristics and Deformation Aspect for Domestic", The Korean Academy of Scientific criminal investigation, Vol. 4, No. 1, pp. 44-52 (2010).
10. H. J. Choi, "A Study on the Development and Application for Side Impact Sled Test", KSAE, Vol. 12, No. 1, pp. 138-144 (2004).
11. J. H. Sohn, S. C. Park and K. S. Kim, "A Study on the Slide Collision Accident Reconstruction Using Database of Crash Test of Model Cars", KSAE, Vol. 17, No. 2, pp. 49-56 (2009).
12. B. W. Seo, Y. J. Byeon and C. S. Park, "Relationship between the Concentration of CO-H Symptoms of Carbon Monoxide Intoxication", New Medical Journal, Vol. 30, No. 6, pp. 46-50 (1987).
13. S. B. Choi, B. Y. Oh and D. M. Choi, "Fire Patterns According to the Blood Hb-CO Concentration of Charred Bodies", Journal of Korean Institute of Fire Science & Engineering, Vol. 26, No. 3, pp. 40-48, (2012).
14. B. K. Leem, S. W. Kim, J. H. Kang and Y. J. Yang, "Smoking Status and Expired Carbon Monoxide Concentration", The Korean Academy of Family Medicine, Vol. 22, No. 5, pp. 674-682 (2001).