

차량 화재 진압을 위한 자동 소화 시스템 구현

Implementation of Automatic Extinguishing System for fire suppression of vehicle

류혜연¹, 김만호^{2*}

Hye-Yeon Ryu¹, Man-Ho Kim^{2*}

〈Abstract〉

In recent years, vehicle fires account for the second highest rate after residential fires. It accounts for more than 10.7% of the total fire occurrence rate. Vehicle fires are very difficult to evolve at an early stage. Most of the vehicles are burned down in the event of a fire, resulting in a lot of physical and personal damage. In the EU and other countries, efforts are being made to install automatic fire extinguishing systems in preparation for vehicle fires. In addition, since the automatic fire extinguishing system applied to a vehicle must operate in a moving state of a car, a method for detecting a fire is needed. Therefore, this paper proposes a structure of an automatic fire extinguishing system that can evolve a fire when a fire occurs in a commercial vehicle among various vehicles. Especially, it confirms the feasibility of the automatic fire extinguishing system simulated in the laboratory environment and confirms its applicability.

Keywords : Fire Suppression, Automatic Extinguishing System, Controller, Extinguishing Container

1 정회원, 동의과학대학교 자동차계열

2* 정회원, 교신저자, 동의과학대학교 자동차계열
E-mail: mhkim@dit.ac.kr

1 Dept. of Automotive Engineering, Dong-Eui Institute of Technology

2* Corresponding Author, Dept. of Automotive Engineering, Dong-Eui Institute of Technology

1. 서론

최근, 빈번하게 발생하고 있는 차량 화재는 운전자 및 승객의 안전을 위협하는 주요한 요인이 되고 있다. 소방청 국가 화재 정보 시스템 자료에 따르면 2018년 1월 1일부터 2018년 12월 31일 동안 대한민국에서 발생한 전체 화재 그림 1과 같이 42,337건이며 차량에서 발생한 화재는 4,570건으로 나타났다[1]. 일반적으로 사람은 약 11.9시간 정도 집에서 생활하며, 수도권 직장인의 평균 출퇴근 시간을 고려하면 약 1.5시간 정도 차량을 이용한다. 사람이 가정에서 생활하는 시간을 고려하면 약 13% 비율만큼 차량을 이용한다고 볼 수 있다[2-3]. 소방청 통계 자료에서 가정에서는 11,548건의 화재가, 차량에서는 4,570건의 화재가 발생하였음을 확인할 수 있다.(Fig.1) 가정에서 발생하는 화재와 비교하여 차량에서 약 40% 정도의 화재가 발생하였음을 알 수 있다. 차량에서 머무는 시간이 가정에서 거주하는 시간과 비교하여 약 13%인 것과 비교할 때, 화재는 가정에서의 발생 건 수 대비 약 40%가 차량에서 발생했다. 이와 같은 통계는 가정에 비해 차량에서 화재가 발생할 가능성이 더 높다는 것을 확인시켜준다.

차량 화재를 발생 원인에 따라 분류할 때, 기계적 요인은 감소하고 전기적 요인은 지속적으로 증가하고 있다[4]. 차량에서 발생하는 화재는 기름과 엔진의 고열로 인하여 빠르게 진행되기 때문에 운전자가 소화기로 진화할 없는 경우가 많다. 특히, 소화기로 화재를 진화하려고 차량의 엔진후드를 열면 급격한 산소 공급으로 인하여 화재가 크게 번지거나 폭발하여 운전자 및 승객의 안전이 위협할 수도 있다. 운전자가 화재 신고를 하고 소방차가 출동하여 사고 현장에 도착하더라도 차량은 전소되는 경우가 많다. 차량에서 발생하는 화재는 화재가 발생한 이후에 화재를 진압하는 것 보다는

발생 이전, 발생 가능성이 큰 상황에서 선제적으로 진압하는 것이 효과적인 방법이다. 이를 통하여 50% 이상의 재산 피해를 줄일 수 있다[5]. 지난 2006년 10월 서해대교에서 발생한 29대의 차량 연쇄 충돌 사고에서 12대의 차량이 불에 탄 경우나 2018년도 B사의 차량 연쇄 화재가 대표적인 차량화재 사례이다.

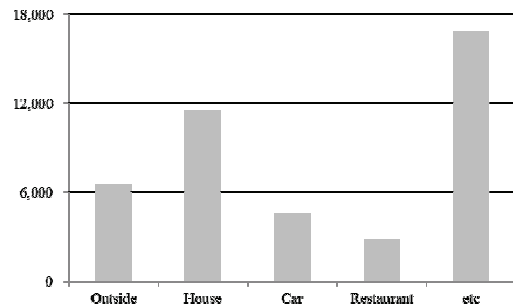


Fig. 1 Number of fire according to place, Korea, 2018. (National Fire Data System)[1]

EU의 경우 상용트럭을 대상으로 자동 소화 시스템 설치를 의무화하는 법률을 준비하고 있으며, EU 자동차 보험 회사에서는 자동 소화 시스템을 설치한 차량에 대한 보험료 할인 혜택을 제공하고 있다. 차량의 자동 소화 시스템에 대한 국내의 연구는 기초적인 수준으로 진행되고 있으며 차량 관련 자동 소화 시스템에 대한 연구는 정책적인 부분과 기술적인 부분으로 구분되어 진행되고 있다. 국내의 다수의 연구는 차량의 자동 소화 시스템을 법적으로 의무화하는 방향으로 집중되어 있다 [6-7]. 또한, 기술적인 연구 방향은 자동 소화 시스템의 대상이 차량이 아니라 고정된 건축물 혹은 스마트 홈이다[8]. 반면에, 해외의 연구는 차량에서 화재가 발생할 때 화재를 자동으로 소화할 수 있는 차량용 자동 소화 시스템에 대한 연구가 진행되고 있다[9]. 따라서 한정된 소화약제와 충전 압력으로 열원을 충분히 냉각시키기 위해 소화 약

제의 분사 시간 및 정압, 정량 조절이 가능한 스마트 소화 시스템의 개발이 필요하다.

본 연구는 열 감지 센서와 가스 감지 센서를 함께 적용한 스마트 소화 시스템의 구조를 제안한다. 특히, 온도 센서와 열 감지 튜브를 기준으로 온도를 측정하기 화재가 발생했다고 판단이 될 경우 충전되어 있는 약제의 방출 시간과 방출량이 조절하는 과정도 실험적으로 제안한다. 마지막으로, 실차 환경을 모사한 환경에서 자동 소화 시스템의 적용 가능성을 검증하였다. 본 논문은 서론을 포함하여 4장으로 구성되어 있다. 2장에서는 차량용 자동 소화 시스템의 구조에 대해 설명하였다. 3장에서는 자동 소화 시스템의 성능 평가 결과에 대해 기술하고 5장에서는 결론과 향후 과정을 제시하였다.

2. 차량용 자동 소화 시스템 구조

차량에서 발생하는 화재를 방지하기 위한 자동 소화 시스템의 구조를 그림 2와 같이 제안한다. 그림에서, 자동 소화 시스템은 소화 약제가 이동

하는 경로, 압력이 이동하는 경로와 전기적인 신호의 이동 경로로 구분되어 있다. 여기서, 소화 약제가 이동하는 경로는 화재가 발생하여 실제 소화 약제가 이동하는 직접적인 경로를 의미하고 압력이 이동하는 경로는 압력의 변화에 의해서 입력이 이송되는 경로를 의미한다. 전적인 신호 경로는 자동 소화 시스템을 제어하는 입력 신호를 의미한다. 자동 소화 시스템은 소화 약제를 저장하고 방출하는 소화약제 저장용기와 소화 약제의 방출을 결정하는 차량용 제어기로 크게 구분된다.

소화약제 저장용기는 차량용 제어기, 열 감지 튜브 및 수동 스위치에서 들어오는 입력 신호에 따라 소화 약제를 방출한다. 세 가지 입력 신호 중에서 최소한 1가지 이상의 입력 신호가 들어오면 소화 약제 저장 용기는 밸브를 열어서 소화약제 저장용기 속에 저장되어 있는 소화 약제를 압력 조절 밸브와 분사 노즐을 통하여 방출한다. 여기서, 소화약제 저장용기는 소화약제를 저장하기 위하여 일정한 수준 이상의 내압을 견딜 수 있어야 하며 차량 화재를 소화할 수 있는 충분한 소화약제를 저장할 수 있는 용량을 확보해야 한다. 소화약제 저장용기는 가압식 방식으로 질소 가스를 충전하는 부분과 소화약제를 충전하는 부분으로

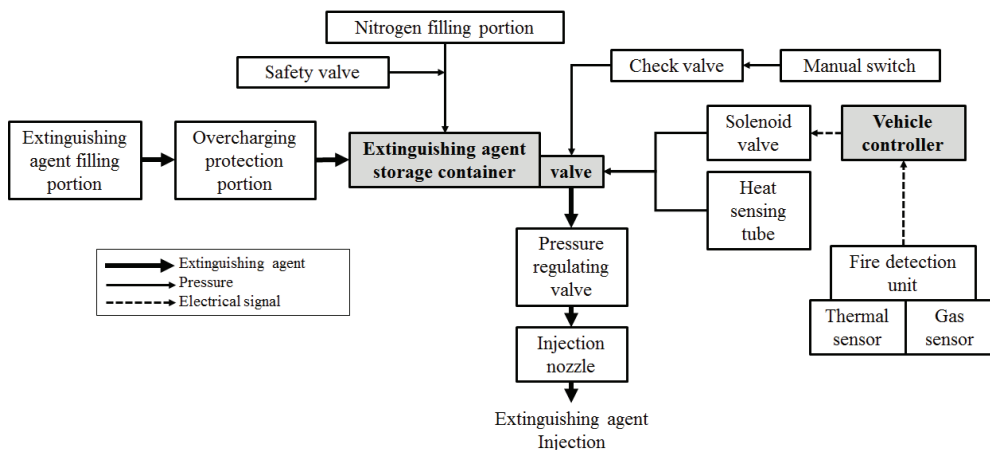


Fig. 2 Structure of the Automatic Extinguishing System for vehicle

구분하여 구성한다.

차량용 제어기는 차량 화재가 발생할 경우 소화약제 저장용기에서 소화약제를 방사하는 제어 신호를 생성하는 기능을 가진다. 차량용 제어기는 차량 엔진 주위에 설치된 온도 센서와 가스 센서를 이용하여 차량 엔진의 화재 유무를 판단하며 온도 센서 및 가스 센서 값은 차량 운행 환경에 따라 실험적으로 결정하여 설정된 임계값을 초과하면 소화약제 방출하는 신호를 생성한다. 차량용 제어기와 함께 소화약제 저장용기에 있는 소화약제를 방출하는 신호를 제공하는 역할을 수행하는 장치는 수동 스위치와 열 감지 튜브가 있다. 수동 스위치는 운전자의 운전석에 위치하며 운전자의 판단에 의해서 소화 약제를 방출할 수 있는 기능을 가지고 있다. 차량 화재가 발생하였지만 차량용 제어기에서 소화 약제 방출 신호를 발생시키지 못하는 경우에 운전자의 판단에 의해서 소화가 될 수 있도록 하기 위함이다. 열 감지 튜브는 진공 상태로 유지되는 튜브로써 차량 엔진 위에 설치되며 화재가 발생하면 열 감지 튜브의 일부가 녹아 진공 상태의 변화가 발생하여 화재를 판단할 수 있도록 한다. 왜냐하면 엔진 실내의 온도는 주변 환경에 따라 급격하게 온도가 상승하는 경우가 있어 온도 센서의 값으로 화재 유무를 완벽하게 판단할 수 없기 때문에 열 감지 튜브를 사용하게 된다.

3. 차량용 자동 소화 시스템 성능 평가

본 논문에서는 차량용 자동 소화 시스템의 성능을 평가하기 위하여 그림 3과 같은 실험 모델을 구성하였다. 그림에서, 실험 모델은 상용 차량을 대상으로 소화약제 저장 용기, 수동 스위치, 차량용 제어기, 열 감지 튜브 및 분사 노즐 등으로 구성하였다. 특히, 상용 차량의 실제 엔진을 대상으로 화재가 일어나는 상황을 모사하여 구성하였다. 실험 모델에서 압력 센서는 최대압력 500 bar까지 측정 가능한 WIKA 사의 A-10모델을 사용하였다. 성능 평가 실험은 외부 기관(전자 부품 연구원) 입회 하에 수행하였다.

자동 소화 시스템의 성능을 평가하기 위하여 표 1과 같은 성능 평가 지표를 설정하였다. 저장용기 내압성은 소화약제 저장장치가 내부의 압력을 견디는 정도로 최소 23kg/cm^2 을 설정하였다. 또한, 저장용기 용량은 소화 약제와 질소 가스를 담을 수 있는 양으로 최소 30L 이상을 설정하였다. 분사되는 노즐의 각도는 화재를 소화하는 중요한 요소가 되어 설정하였으며, 소화 약제가 방출되는 시간이 충분히 길어야 소화가 완료될 수 있기에 설정하였다. 마지막으로, 실차 환경에서 총 5회 실험 중에서 4회 이상의 실험이 성공적으로



Fig. 3 Experimental testbed Automatic Extinguishing System for vehicle

소화할 수 있으면 통과할 수 있도록 성능 평가 지표를 설정하였다.

Table 1. Experimental performance index

	평가 지표	평가 단위	평가 목표
1	저장용기 내압성	kg/cm ²	23 이상
2	저장용기 용량	L	30 이상
3	노즐 분사 각도	°(도)	60±5%
4	소화 방출 시간	sec	60
5	실차 적용 평가	횟수	5회중 4회



Fig. 4 Experimental results of Internal pressure of container

그림 4는 저장 용기의 내압성을 측정한 결과를 나타내고 있다. 그림에서, 저장 용기의 내압은 24kg/cm²을 나타내고 있다. 즉, 본 논문에서 설정한 성능 평가 기준을 4.3% 이상 초과하여 만족함을 확인하였다.

그림 5는 저장 용기의 용량을 측정한 결과를 나타내고 있다. 저장 용기의 용량은 빈 저장 용기의 무게를 측정하고 물을 충전하여 무게를 측정 후 물의 밀도를 이용하여 연산하였다. 그림 5(a)에서 빈 저장 용기의 무게는 약 23.96 kg으로 측정되었으며, 그림 5(b)에서 물을 가득 채운 저장 용기의 무게는 약 54.80kg으로 측정되었다. 측정된

무게를 이용하여 연산하면 약 30.84L 값을 가짐을 확인하였다. 즉, 본 논문에서 설정한 성능 평가 기준을 2.8% 이상 초과하여 만족함을 확인하였다.



(a) Weight of empty container



(a) Weight of empty container

Fig. 5 Experimental results of internal volume of container

그림 6은 분사 노즐의 각도를 측정한 결과를 나타내고 있다. 분사 노즐의 각도는 소화 약재가 분사 될 때 분사 방향에 수직인 면에서 분사 모습을 촬영하여 CAD를 이용하여 각도를 측정하였다. 그림에서, 분사 각도는 약 61도를 나타내고 있으며, 설정한 성능 평가 지표의 범위를 만족함을 확인하였다.



Fig. 6 Experimental results of Spray angle of Spray nozzle

소화 방출 시간은 총 5회를 실시하였으며, 그림 7과 같이 성능 평가 테스트 베드에 인위적으로 화재를 발생시켜 실험하였다. 5회 평균 소화 방출 시간은 112.16초이며 최대 119초 최소 102초로 모두 성능 평가 지표를 만족하였다. 또한, 실차 성능 평가 역시 5회 모두 발생된 화재를 완벽하게 소화하였으며, 성능 평가 지표를 만족하였다. 이상의 성능 평가 결과를 고려하면 본 논문에서 제안한 차량에서 화재가 발생할 경우 화재를 자동으로 소화하는 자동 소화 시스템의 성능이 우수함을 확인하였다.

4. 결론

본 논문은 상용차량 대상으로 차량 화재가 발생하면 자동으로 소화할 수 있는 차량용 자동 소화 시스템을 제안하였다. 특히, 상용차량의 특성을 고려한 자동 소화 시스템의 구조 및 구동 방법을 제안하였다. 마지막으로, 제안된 방법을 실험실 수준에서 모사한 장치에서 그 성능을 평가하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 차량 화재가 발생할 때 화재를 감지하고 소화하는 방법을 제안 및 평가 하는 과정을 통하여 제안한 자동 소화 시스템의 제품 가능성을 확인하였다. 특히, 화재가 발생하는 경우를 감지하는 세 가지 방법을 통하여 효과적으로 차량 화재에 대처할 수 있음을 확인하였다.

둘째, 개발된 자동 소화 시스템은 차량에 화재가 발생한 경우 긴급하게 화재를 소화시킬 수 있음을 확인하였다. 특히, 많은 승객을 이송하는 상용차량에서 인명 및 재산 피해를 최소화할 수 있는 자동 소화 시스템의 필요성을 확인하였다.

하지만 본 논문에서 제안한 자동 소화 시스템은 실험실 환경에서 구현하여 그 성능을 평가하였



(a) Vehicle fire situation



(b) Vehicle fire suppression

Fig. 7 Experimental results of fire suppression test

다. 따라서 양산 제품이 되기 위한 제품 테스트 및 양산 설계 과정에 대한 연구가 필요하다. 또한, 차량 화재로 인하여 차량 엔진 부품 전체를 교환하는 문제점을 해결하기 위하여 엔진 부품에 영향을 주지 않는 소화약제 혹은 소화 방법에 대한 추가적인 연구도 필요하다.

safety management system,” Journal of the Korean institute for gas, vol. 16, no. 6,(2012).

- [9] X. B. Liao, H. Q. Shan, Z. Z. Quan and L. Peng, “The design and implementation of automatic fire extinguishing and explosion suppression system’s testing equipment,” Applied Mechanics and Materials, pp. 543-547, (2014).

(접수: 2018.12.05. 수정: 2019.02.28. 게재확정: 2019.03.14.)

사 사

이 논문은 2018년도 BB21+ 사업에 의하여 지원되었음

참고문헌

- [1] 소방청 국가 화재 정보 시스템 홈페이지 (<http://www.nfds.go.kr>)
- [2] 고현실, “수도권 직장인 42만명 출퇴근에 평균 1시간반 쓴다,” 연합뉴스, 2017.06.21., 1쪽, (2017).
- [3] 이충신, “집 외 장소에 머무는 시간 길수록 휴대폰 데이터 사용량 증가,” 한겨레신문, 2017.01.26., 1쪽, (2017).
- [4] 국가화재정보시스템, “2015 차량 발화 원인별 화재 발생 현황”, 2016.
- [5] B. C. Park, and K. H. Park, “Fire Extinguisher Maintenance System using Smart NFC Communication and Real-Time Pressure Measurement,” Journal of Digital Contents Society, vol. 19, no. 2, pp.403-410, (2017).
- [6] C. S. Baek and I. S. Park, “Policy direction for fire products life expectancy legislation,” Journal of fire science and engineering, vol. 30, no. 1,(2016).
- [7] 김진표, 박남규, 김윤희, “차량 화재 원인별 조사 방법,” 한국화재조사학회 논문지, vol.3, no.1, (2003).
- [8] G. T. Park, E. J. Kim, I. C. Kim and H. S. Kim, “Development and field test of a smart-home gas