

화재감지선 S/W 개선을 통한 자동소화장치 오동작 방지

주용원*, 곽대환
국방기술품질원 기동화력센터

Prevent malfunction of automatic fire extinguishing device by improving fire detection wire S/W

Yong-Won Joo*, Dae-hwan Kwak
Land Systems Center, Defence Agency for Technology and Quality

요약 본 연구에서는 장갑차 등의 기동장비에 적용되는 자동소화장치의 화재감지선 손상에 따른 소화장치 오동작 방지에 대하여 다루었다. 자동소화장치는 화재탐지부, 자동제어부, 화재진압부로 구성되는데, 화재감지선의 경우 화재탐지부의 주요 구성품으로 화재 발생 시 육안으로 식별하기 힘든 엔진실과 같은 곳에 배치되어 화재감지선 내부에 있는 2종의 와이어의 기전력 변화량으로 화재를 감지하여 자동제어부에 화재감지 신호를 전달한다. 야전에서 운용 중 화재가 발생하지 않았음에도 불구하고 소화기의 분사가 다수 발생하여 소화장치의 오동작에 대한 고장 현상 재현을 실시하였고, 화재감지선 손상이 발생하였을 때 기준값 이상의 기전력이 발생하여 화재가 발생하지 않았음에도 불구하고 소화기가 분사함을 확인하였다.

이러한 문제를 개선하기 위하여 화재감지선의 완전 단락과 부분 단락을 모사하여 기전력을 측정하여 일정 기전력 이상 발생하였을 경우, 예외처리하여 소화장치가 작동되지 않게 S/W 개선하였다. 또한 손상이 발생한 화재감지선에 대하여 운용자가 쉽게 알 수 있도록 통합조종상자의 램프에 점멸기능을 추가하였다.

본 연구는 기동장비 자동소화장치의 오작동에 대한 원인분석을 실시하고 개선방안을 도출하여 자동소화장치의 신뢰성을 향상하였으며 향후 유사장비의 고장 원인분석에 기여 할 것으로 기대된다.

Abstract In this study, we dealt with the prevention of malfunction of a fire extinguishing system due to damage to the fire detection wire in mobile equipment such as armored vehicles. The automatic fire extinguishing system consists of a fire detection unit, an automatic control unit, and a fire suppression unit. The fire detection line is the main component of the fire detection unit. It detects a fire with the change in electromotive force of a wire and transmits a fire detection signal to the automatic control unit. In order to improve this problem, the electromotive force was measured by simulating the complete short circuit and partial short circuit of the fire detection line. When a certain electromotive force or a higher one occurred, the S/W was improved so that the fire extinguishing device would not operate by handling an exception. In addition, a flashing function was added to the lamp of the integrated control box so that the operator can easily know about the damaged fire detection line. This study improved the reliability of the automatic fire extinguishing system by analyzing the cause of malfunction of the automatic fire extinguishing system for mobile equipment and deriving improvement plans. It is expected to contribute to the analysis of the cause of failure of similar equipment in the future.

Keywords : Fire Extinguishing System, Fire Detection Wire, Electromotive Force, Malfunction, Short Circuit

*Corresponding Author : Yong-Won Joo(Defence Agency for Technology and Quality)

email: jooyongwon@dtaq.re.kr

Received July 28, 2023

Revised August 28, 2023

Accepted October 6, 2023

Published October 31, 2023

1. 서론

자동소화장치는 장갑차 및 전자 등과 같은 기동화력 장비의 임무 수행 시 적의 대전차 포탄에 의한 피탄, 누유, 충격 등의 원인으로 승무원실이나 엔진실에서 화재가 발생할 경우 수초 이내 완전 진화를 가능하게 하여 운전자와 고가의 장비의 안전을 확보한다[1].

이러한 자동소화장치는 화재탐지부, 자동제어부, 화재진압부로 구성된다. 화재탐지부는 화재를 감지하는 화재감지기와, 화재감지선으로 구성되며 화재를 인식하여 자동제어부로 화재감지신호를 전달한다. 자동제어부인 통합조종상자에서 화재감지신호를 전달받아 신호를 증폭하여 제어컴퓨터에 화재신호를 전달하고, 화재진압부에 소화분사 신호를 전달한다. 마지막으로 화재진압부는 소화기와 솔레노이드 노즐로 구성되어 있어, 자동제어부의 신호를 받아 소화액을 분사하여 화재를 진압한다.

이 자동소화장치의 구성 중 화재감지선 손상으로 인하여 야전에 장비 운용 중 화재가 발생하지 않았음에도 불구하고 화재 발생으로 인식하여 소화기의 분사 현상이 다수 발생하였다. 이와 같이 소화기 오동작으로 인하여 실제 화재가 발생하였을 경우, 화재를 진압하지 못할 뿐만 아니라 운용 중에 소화기 분사로 운용자의 부상을 초래할 우려가 있다. 따라서 본 연구에서는 화재 감지선의 손상으로 인하여 소화기 오동작할 수 있는 환경에 대하여 고장탐구를 실시하였으며, 개선사항에 대한 SW 수정 후 검증시험을 통하여 개선안을 검증하였다.

2. 고장원인 분석

2.1 자동소화장치와 화재감지선의 기능

자동소화장치는 장갑차 및 전자 등과 같은 기동화력 장비의 임무 수행 중 피탄, 누유, 충격 등과 같은 외력에 의하여 화재가 발생하였을 경우 화재를 감지하여 자동 또는 수동으로 화재를 진압하는 장비이다.

작동 순서에 따라 장비 운용자가 직접 통합조종상자의 수동스위치를 작동할 수 있다. 하지만 엔진실과 같이 운용자가 없는 공간에서 화재가 육안으로 식별이 불가할 경우, 배치된 화재감지기와 화재감지선으로 화재를 감지한다. 때문에 화재감지기와 화재감지선은 운용자와 장비의 안전에 직결되는 자동소화장치의 매우 중요한 구성품이다.

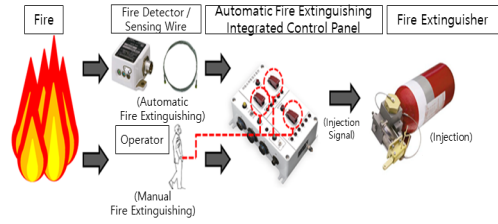


Fig. 1. Automatic Fire Extinguishing System Operation Sequence

화재감지선은 엔진실 및 승무원실에서 화재 발생 시 열전대(Thermocouple) 방식[2-4]으로 특정온도, 화구의 직경, 시간 등에 따라 열원을 감지하여 이를 전기적인 신호로 변환하여 통합조종상자로 전달하는데, 이러한 전기적인 신호는 열원이 식을 때까지 지속적으로 발생한다. Fig. 1은 화재 발생 시 화재감지에서부터 소화기 분사까지의 자동소화장치 작동 순서를 나타내었다.

2.2 화재 감지선의 구성 및 작동원리

화재감지선의 구성은 아래 Fig. 2와 같이 스테인레스 파이프 내 니켈과 크롬 합금인 크로멜선, 니켈과 알루미늄 합금인 알루멜선, 세라믹 혼합 분말로 구성된다.

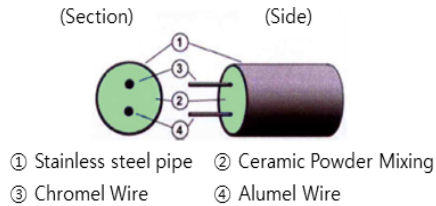


Fig. 2. Composition of Fire Detection Wire

화재감지선의 구성에 따라 화재가 발생하여 일정한 온도 이상이 되면 세라믹 혼합 분말의 화학작용으로 인하여 크로멜 선과 알루멜 선에 기전력이 발생하게 된다. 이러한 기전력을 통합조종상자로 전달하며, 통합조종상자는 화재가 발생한 소화기에 분사 신호를 인가한다.

2.3 고장 현상 및 원인 검토

야전에서 운용 및 정비 시 아래 Fig. 3과 같이 화재 감지선의 손상으로 인하여 소화기가 분사되는 현상이 다수 발생하였으며 이를 확인하기 위하여 통합조종상자의 분사 이력을 확인한 결과, 화재감지선이 손상된 차량의 자동소화장치가 오동작하였음을 확인하였다.



Fig. 3. Damage to Fire Detection Wire

자동소화장치의 오동작 원인검토를 위하여 화재 감지선의 손상을 실험실에서 재현, 소화기 분사 영향성을 검토 하였다.

Fig. 4(a)와 같이 화재 감지선 내 알루미늄 선과 장비, Fig. 4(b)와 같이 크롬멜선과 알루미늄선 그리고 장비를 임의로 단락시켜 Table 1과 같이 화재 감지선의 화재 인식을 확인하였다.

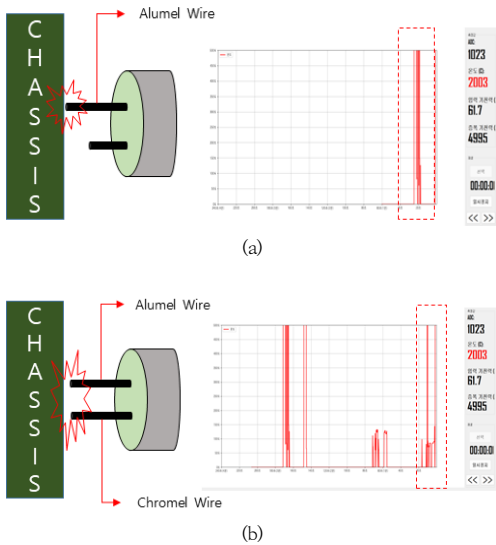


Fig. 4. Temperature measurement
(a) Chassis and alumel wire contact, (b) Chassis and alumel wire and chromel wire contact

Table 1. Fire recognition by contact type

Type	Temperature measurement (°C)	Fire recognition
chassis - alumel wire	2,000	○
chassis - alumel wire - chromel wire	2,000	○

위 재현시험 결과, 화재 감지선의 파손으로 인하여 화재감지선 내 알루미늄 선이 장비에 단락되었을 경우 2,000 °C 이상의 비정상적인 온도로 오인식하였다. 즉, 화재감

지선의 손상이 자동제어부에서의 온도 오인식을 유발하여 소화액 분사가 이루어졌을 것으로 추정하였다.

3. 개선안 도출 및 입증

3.1 개선안 도출

고장현상 및 원인검토 결과를 바탕으로 기존엔 화재감지선의 기전력 발생 시, 소화기가 분사되었지만 화재감지선이 손상되어 완전단락 또는 부분단락 되더라도 오작동 분사하지 않도록 아래와 같이 개선하였다.

첫 번째, 화재 감지선이 완전단락 되었을 경우 화재 측정값이 800 °C 이상 측정되는데, 이때의 측정값을 거짓으로 판단하여 소화기 미분사되도록 처리하였다. Fig. 5와 같이 디젤 화재 온도 시험결과 화염과 센서의 거리 0.5 m 에서의 최대 온도는 800 °C 로 측정된다[5]. 이는 화재가 발생하였을 경우, 0.5m 에서의 최대 측정온도는 800 °C 이상 측정된다면 측정 센서 또는 장비의 이상을 고려해 보아야 한다는 의미이다.

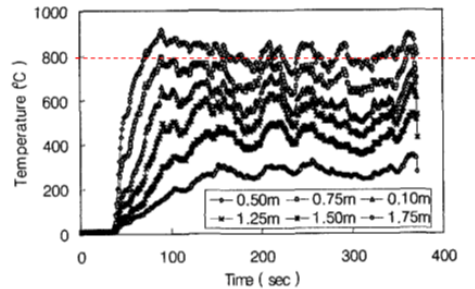


Fig. 5. Diesel fire temperature by distance

따라서 화재 감지선에서 800 °C 이상에 해당되는 신호가 발생되었을 경우, 소화기 분사 신호를 출력하지 않도록 예외처리를 하였다. 관련 S/W 알고리즘 변경은 Fig. 6과 같다.

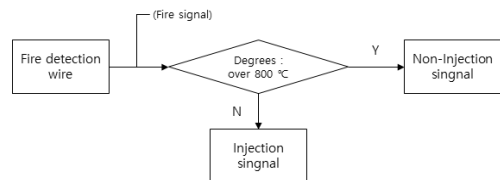


Fig. 6. Non-operational S/W exception handling algorithm when over 800 degrees

두 번째, 화재 감지선이 부분 단락되었을 경우, 완전 단락 시 발생하는 신호보다 낮은 전위의 신호가 발생한다. 이러한 경우 완전 단락에 대한 개선만으로 오동작을 방지할 수 없다. 따라서 실험을 통하여 1초당 온도 변화량을 측정하여 일정 온도 변화량 이상일 경우 예외처리하여 오동작을 방지하고자 하였다.

1초당 온도 변화량 기준을 설정하기 위하여 화재감지선을 국부가열, 화재감지선의 기전력 변화를 측정하였다. 1분간 6회 시험 결과, 부분 단락 시 Fig. 7과 같이 1초당 최대 온도변화량은 75 ℃ 였으며, 마진을 고려하여 1초당 100 ℃ 이상일 경우 소화기가 분사되지 않도록 예외처리 하였다.

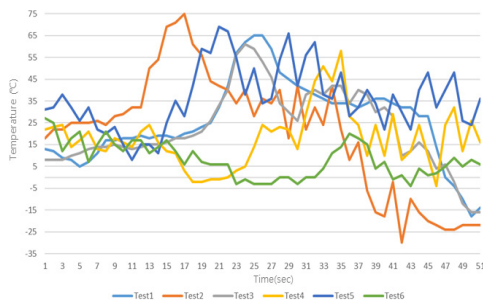


Fig. 7. Temperature change per second in case of fire

마지막으로 화재 감지선의 완전 단락 또는 부분 단락이 되었을 경우 운용자의 화재 감지선 손상을 인지하기 위하여 화재감지선 램프 등의 점멸기능과 엔진실 화재 경고등 소등기능을 추가하였다. 이 기능을 통하여 운용자가 기존엔 알 수 없었던 화재 감지선의 손상유무를 알 수 있을 뿐만 아니라 손상된 화재 감지선의 위치를 알 수 있게 하여 적기에 정비를 할 수 있게 한다.

3.2 입증 시험

개선안 입증을 위하여 모의 및 실 화재 상황에서 개선안의 정상 작동 유무를 모의화재, 화재감지선 완전단락(800 ℃ 이상), 화재감지선 부분단락(100 ℃/s 이상) 실 화재 조건에서 시험하였다. 이러한 시험조건과 확인사항을 Table 2에 나타내었으며, 각 시험조건에 대한 모식도와 시험장비는 Fig. 8~10과 같다.

Table 2. Improvement confirmation test

Test	Test condition	Confirmation		
		Fire warning light	Fire detection light	Simulated fire extinguisher
1	Simulation of fire (250~800 ℃)	ON	ON	Operation
2	Simulation of fire detection wire damage (800 ℃)	OFF	FLASH	Non-Operation
3	Above 100 ℃/sec	OFF	FLASH	Non-Operation
4	Fire	ON	ON	Operation

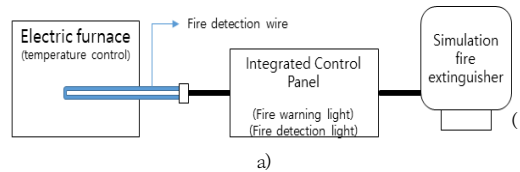


Fig. 8. Simulation of fire and Simulation of fire detection wire damage
(a) Schematic diagram, (b) Equipment

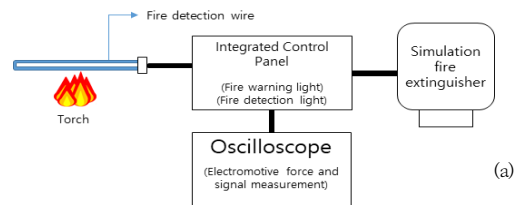


Fig. 9. Above 100 ℃/sec
(a) Schematic diagram, (b) Equipment

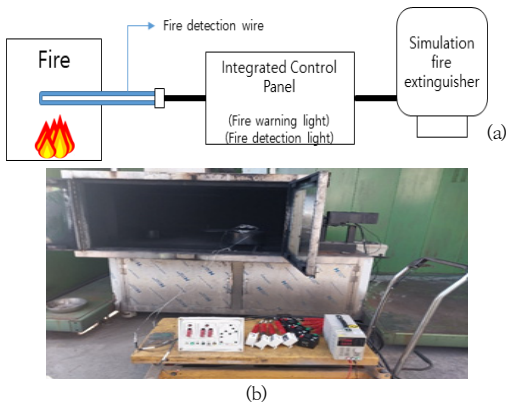


Fig. 10. Fire
(a) Schematic diagram, (b) Equipment

첫 번째, 온도 조절이 가능한 전기로에 화재 감지선을 위치하여 화재 발생 조건인 측정 온도 250~800 ℃ 일 때, 통합조종상자에서 화재 경고등, 화재감지선 램프등 점등 및 모의 소화기 분사 신호를 확인 하였다. 해당 시험 결과는 Fig. 11과 같다.

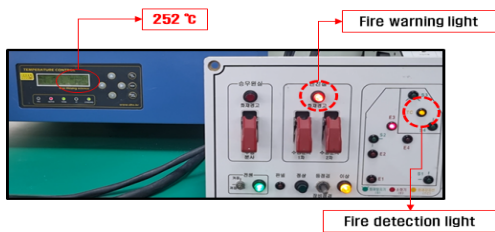


Fig. 11. Fire Extinguisher Operation in case of fire

두 번째, 온도 조절이 가능한 전기로에서 전기로의 온도를 800 ℃ 이상으로 조절하여, Fig. 12와 같이 통합조종상자에서 화재경고등 소등, 화재감지선램프등 점멸, 모의 소화기 미분사를 확인하였다.

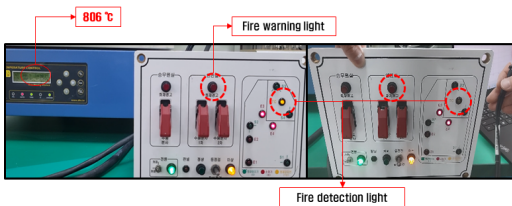


Fig. 12. Fire Extinguisher Operation in case of damage to fire detection wire

세 번째, 1초당 온도변화량이 100 ℃ 이상이 되었을 경우, 오실로스코프를 이용하여 소화기 분사 신호 발생 유무, 화재경고등 소등, 화재감지선 램프등 점멸, 모의 소화기 미분사를 확인하였다. Fig. 13과 같이 580 ℃/s 상승하였을 때, Fig. 14와 같이 오실로스코프에서 소화기 분사 신호가 발생하지 않았다.

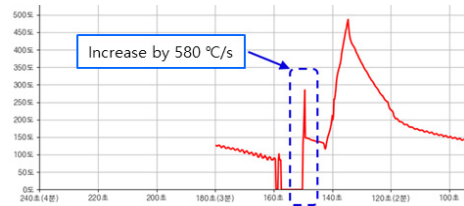


Fig. 13. Increase 580 degrees per seconds

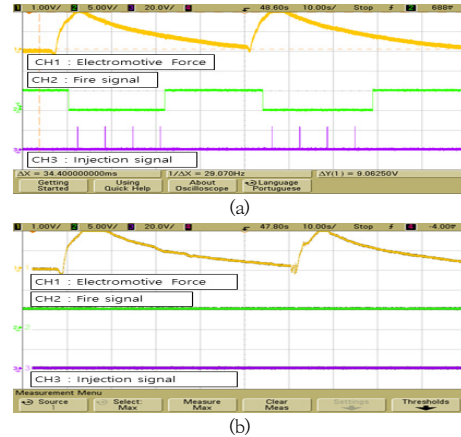


Fig. 14. Injection signal generation
(a) Before, (b) After

마지막으로 실제 화재 발생을 하였을 경우, 개선안이 적용된 자동소화장치의 정상 작동유무를 확인하기 위하여 실 화재를 발생하여 화재감지선이 화재를 인식하여 화재경고등 점등, 화재감지선 램프등 점등, 모의 소화기가 분사됨을 확인하였다.

4. 결론

본 연구에서는 장갑차 및 전차 등과 같은 기동장비에 적용되는 자동소화장치의 화재감지선 손상에 따른 소화장치 오동작 방지에 대하여 다루었으며, 개선방안을 아래와 같이 도출하였다.

- 1) 화재 감지선이 손상되어 완전 단락되었을 경우, 화재 감지선이 800 °C 이상 측정되는데 이때의 측정값을 거짓으로 판단하여 소화기가 분사되지 않도록 하였다.
- 2) 화재 감지선의 부분 손상으로 인하여 화재감지선의 온도 측정값이 1초당 100 °C 이상 상승할 경우 이때의 측정값을 거짓으로 판단하여 소화기가 분사되지 않도록 하였다.
- 3) 화재감지선의 완전 또는 부분 단락으로 인하여 비정상 값이 측정될 경우, 통합조종상자의 화재감지선 램프 등의 점멸 기능을 추가하여 사용자가 화재감지선의 손상을 인지, 오동작 방지와 더불어 적기에 정비를 실시할 수 있게 하였다.

이러한 개선방안을 적용하여 자동소화장치의 오동작 배제, 작동 신뢰성을 향상시킬 수 있을 것으로 판단되며, 향후 유사장비에 적용된 자동소화장치의 고장원인 분석에 기여 할 것으로 기대된다.

References

- [1] S. D. Kim, J. H. Kim, H. S. Nam, "Design of automatic extinguishing system for special vehicles", Korean Institute of fire science & engineering, Vol.2014, pp171-172, 2014.
<http://www.riss.kr/link?id=A106532958>
- [2] B. G. Ho, C. J. Kim, "Thermocouple", State-of-the-art report, Vol.6 No.3, pp.122-141, 1994.
<http://www.riss.kr/link?id=A101554900>
- [3] S. G. Kim, W. S. Baek, C. Y. Park, "Pyrometer system using a Thermocouple", Proceedings of 1991STRC Meeting on Sensor Technology, Vol.2, No.1, pp413-418, 1991.
<http://www.riss.kr/link?id=A35495410>
- [4] "Principle and usage of thermocouple", The Korean Institute of Metals and Materials, pp 303-309, 1984.
<http://www.riss.kr/link?id=A75323290>
- [5] W. S. Lim, J. W. Choi, "Measurements of Flame Temperature and Radiation Heat Flux from Pool Fire with Petroleum Diesel Fuel", J of Korean Institute of Fire Sci & Eng, Vol.21, No.3, 2003.
<http://www.riss.kr/link?id=A104431918>

주 용 원(Yong-Won Joo)

[정회원]



- 2013년 2월 : 창원대학교 기계설계공학전공 (공학사)
- 2012년 12월 ~ 2014년 4월 : LG 전자 에어컨연구소 연구원
- 2015년 1월 ~ 2022년 6월 : 퍼스텍 주식회사 선임연구원
- 2022년 7월 ~ 현재 : 국방기술품질원 연구원

<관심분야>

국방, 기계/재료, 유공압

곽 대 환(Daehwan Kwak)

[정회원]



- 2012년 2월 : 강원대학교 전기전자공학전공 (공학사)
- 2017년 2월 : 과학기술연합대학원대학교 에너지변환공학전공 (공학박사)
- 2017년 4월 ~ 2017년 12월 : 한국전기연구원 연구원
- 2018년 12월 ~ 현재 : 국방기술품질원 연구원

<관심분야>

국방, 전기전자, 펄스전원