

연기/CO 및 연기/열 복합형 IoT 멀티 화재 감지기의 화재감지실험 연구

A Study on Fire Alarm Test of IoT Multi-Fire Detector combined Smoke/CO and Smoke/Temperature Sensors

손근식¹ · 소수현^{2*}Geun-Sik Son¹, Soo-Hyun So^{2*}¹Senior Researcher, FILK, Yeosu, Republic of Korea²Professor, Department of fire safety, Kyungil University, Gyeongsan, Republic of Korea

*Corresponding author: Soo-Hyun So, soohyunso@hanmail.net

ABSTRACT

Purpose: The purpose of this study is to develop IoT multi-fire detectors combined smoke/carbon monoxide/heat and wireless IoT communication and to confirm the detect performance by smoke generator fire test and cotton wicks fire test. **Method:** The IoT multi-fire detector combined smoke and CO and combined smoke and heat were experimented the detect performance by smoke generator test and fire test of cotton wicks. And the case of fire alarm was checked. **Result:** The IoT multi-fire detector combined smoke and CO rung the alarm at the fire test of cotton wicks, did not ring the alarm at the smoke generator test. In comparison, the IoT multi-fire detector combined smoke and heat did not ring the alarm both at the smoke generator test and the fire test of cotton wicks. **Conclusion:** The IoT multi-fire detector combined smoke and CO detected the only smoke including the carbon monoxide and the IoT multi-fire detector combined smoke and heat did not ring the alarm for lack of heat. As a result, when the developed IoT multi-fire detector was detected the signal more than the set point, the fire alarm was sounded through cotton wicks fire test and smoke generator.

Keywords: IoT Multi-fire Detector, Smoke Generator Test, Cotton Wicks Fire Test, Unwanted Alarm Discrimination

요약

연구목적: 연기/CO/열 복합형 화재감지기와 무선 IoT통신을 결합한 IoT 멀티화재감지기를 개발하고 화재감지 실험을 통하여 연기/CO/열 복합형 IoT 멀티화재감지기의 화재감지성능을 확인하는 것을 목적으로 한다. **연구방법:** 연기/CO 복합형 과 연기/열 복합형의 IoT 멀티화재감지기를 연기발생기와 면심지 연소를 통하여 화재감지성능을 실험하였으며, 화재 신호를 발하는 기준을 확인하였다. **연구결과:** 연기/CO 복합형 IoT 멀티 화재감지기는 면심지 연소 실험에서 화재를 감지하였으나 연기발생기 실험에서는 화재를 감지하지 않았다. 반면 연기/열 복합형 IoT 멀티 화재감지기는 두 실험 모두 화재를 감지하지 않았다. **결론:** 연기/CO 복합형 IoT 멀티화재감지기는 CO가 포함된 연기만을 감지하였으며, 연기/열 복합형 IoT 멀티 화재감지기는 열의 부족에 의해 화재를 감지하지 않았다. 이와 같은 결과로 개발된 IoT 멀티 화재감지기는 면심지 연소 실험과 연기발생기 실험을 통해 2가지 센서의 기준값 이상 신호를 검출하여야 화재 신호를 발한다는 것을 확인하였다.

핵심용어: IoT 멀티 화재감지기, 연기발생기 실험, 면심지 연소 실험, 비화재보 판별

Received | 25 March, 2021

Revised | 1 June, 2021

Accepted | 1 June, 2021

 OPEN ACCESS

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted noncommercial use, distribution, and reproduction in anymedium, provided the original work is properly cited.

서론

소방청 국가화재정보센터의 2019년도 화재통계연감에 따르면 자동화재탐지설비에 대한 작동/미작동 현황에서 전체 화재 건수 40,103건 중 작동 2,804건이고, 미작동 224건, 소규모 화재로 미작동 1,107건, 미상 118건 및 해당사항 없음 35,850건으로 나타났다. 자동화재탐지설비의 미작동 건수는 2015년 140건, 2016년 172건, 2017년 178건, 2018년 232건, 2019년 224건으로 최근 증가하는 추세이며, 미작동의 경우 화재 감지기의 비화재보로 인하여 수신기의 전원을 차단하여 피해를 키운 화재도 발생하였다. 2014년 경기 고양터미널 화재, 2017년 동탄 메타폴리스 화재 등이 대표적인 사례이다.

이러한 화재감지기의 비화재보 발생 원인을 구분해 보면 Table 1과 같다(Choi, 2015). 4가지 요인 중 난방, 용접, 배기가스, 흡연 등 인위적인 요인이 가장 많으며, 유증기, 기상(미세먼지 등) 등 기능적 요인, 환경적(청소, 침수 등) 유지관리 요인 순으로 비화재보가 발생하고 있다(Kim et al., 2009). 또한 감지기별 비화재보 원인을 살펴보면, 열 감지기 경우에는 겨울철 실내에 온열 기구의 사용으로 급격한 온도변화로 오작동으로 인한 비화재보를 발생시킬 수 있으며, 또한 주방에서 여러 가스 레인지를 사용하는 경우에도 비화재보를 발생시킬 수 있는 것으로 나타났다(Cha, 2016).

연기 감지기의 경우에는 화재 이외의 연기, 연기 이외의 입자, 환경적인 원인 등 다양한 원인으로 나타나는 데 그 주요 원인은 크게 세 가지로 요약될 수 있다. 화재 이외의 연기의 경우 담배, 음식 조리, 모기향, 배기가스, 석유난로, 숯불 등에서 발생하고 연기 이외의 입자의 경우 수증기, 건축재료 먼지, 시멘트 가루, 벌레, 각종 스프레이, 살충제 살포 등에서 발생한다(Seo et al., 2016).

Table 1. Cause of unwanted alarm

구분	대표적 원인
인위적 요인	담배연기, 조리, 난방
기능적 요인	감지기의 자체적인 원인
관리적 요인	감지기에 이물질 침투, 청소 불량
설치적 요인	부적절한 배선 설치로 인한 단락, 불량, 부식

이러한 화재감지기의 비화재보를 해결하기 위하여 CCTV가 결합된 무선화재감지기가나 AI기술이 융복합된 화재감지기가 개발되고 있는 추세이다. 본 연구에서는 연기/CO 및 연기/열 복합형 IoT 기반의 화재감지기를 개발하여 개발된 화재감지기의 화재감지실험을 통하여 화재감지성능을 확인하고 비화재보의 신뢰성 향상에 대한 가능성과 연계성을 검토하고자 하였다.

연기 및 열 감지기의 개요

연기 감지기의 연기 챔버는 광원(IR-LED), PD(Photodiode), 연기 챔버(Smoke-chamber) 등으로 구성되어 있으며, 챔버의 사진은 Fig. 1에 나타내었다. 일반적인 연기 감지기 샘플의 광원 스펙트럼을 측정하여 Fig. 1에 그래프로 나타내었으며, 광원(IR-LED)의 중심파장은 933 nm로 측정되었으며, 측정된 결과를 이용하여 연기센서 설계에 적용하였다.

또한 열 감지기에는 정온식과 차동식이 있으며, 정온식 감지기는 일정한 온도값에 도달하게 되면 얇은 금속편 바이메탈의 변화 또는 저항값이 일정하게 변화함에 의해 감지기가 작동해 화재신호를 발신한다(Fig. 2). 차동식 감지기는 주위온도의 변

화가 일정하게 상승하면 화재신호를 발신하는 감지기이다(Park et al., 2016; Ryu, 2014; Nahid et al., 2019; Ryu et al., 2015).

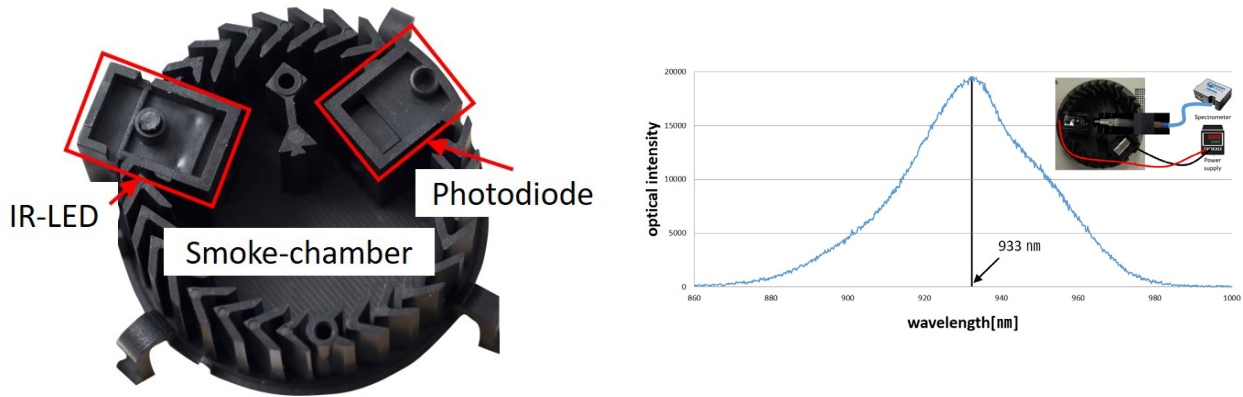


Fig. 1. Chamber structure of smoke detector and center wavelength of IR-LED source

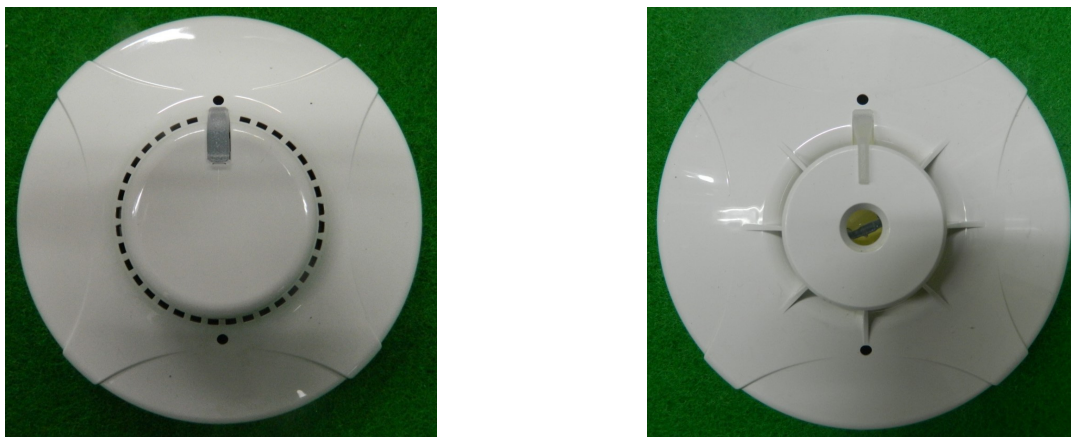


Fig. 2. Smoke detector and heat detector (Example)

연기/CO/열 복합형 IoT 멀티 화재 감지기의 일산화탄소 센서 사양

본 연구를 통하여 개발된 연기/CO/열 복합형 IoT 멀티 화재 감지기에 적용된 일산화탄소 센서는 전기화학식으로 일산화탄소 가스에 의해 유기되는 미세한 전류 변화를 전압으로 변환하여 측정하는 방식으로 배터리 구동이 가능하도록 설계하였다. 연기/CO 복합형 IoT 멀티 화재감지기에 적용된 일산화탄소 센서의 사양은 Table 2와 같다.

또한 연기감지에 사용된 광원은 Kodenshi auk 사의 중심 파장 950 nm를 갖는 IR-LED 광원을 사용하였으며, 포토다이오드는 Osram 사의 중심 파장 950 nm를 감지할 수 있는 소자를 이용하여 설계하였다.

또한 연기/CO/열 복합형 IoT 멀티 화재 감지기를 Fig. 3과 같은 연기 감지기 감도시험기 챔버 내에 설치하여 광전식 연기 감지기의 감도시험 기준(감지기의 형식승인 및 제품검사의 기술기준)에 근거하여 연기농도에 따른 일산화탄소 농도를 측정

하였다. Fig. 3에서 볼 수 있듯이 연기 농도 15 %/m 일 때의 일산화탄소 농도는 10.8 ppm이며, 연기 농도 20 %/m 일 때의 일산화탄소 농도는 16.9 ppm으로 측정되었다. 이것은 발생된 연기의 농도가 15 %/m 일 때 연기 속에 포함된 일산화탄소 농도가 10.8 ppm을 초과하면 화재를 감지한다는 것을 의미한다.

Table 2. Specifications of CO sensor

센서	사양
일산화탄소(CO) 센서	전기화학식
	측정범위 0 ~ 1000ppm
	센싱감도 1.2~3.2nA/ppm
	응답시간 60초 이내
	동작온도 -10°C ~ 50°C

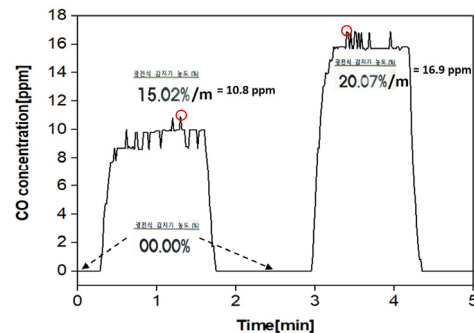


Fig. 3. Measurement apparatus and result of CO sensor installed IoT multi-fire detector

IoT멀티 화재감지기의 기본 구조

본 연구에서 개발된 연기/CO/열 복합형 IoT 멀티 화재 감지기는 앞/뒤 구조를 갖는 회로부에 연기/CO/열 감지 센서를 설치하였으며, 각 센서의 배치는 Fig. 4와 같다. 이 멀티 화재감지기는 세 가지 센서가 설치되어 있으나 연기/CO 또는 연기/열 감지 모드로 각각 설정하여 실험을 진행하였다. 또한 감지 신호의 무선 통신은 안전시스템용 주파수 447 MHz를 주 통신으로 하고 있으며, IoT 무선 통신 기술인 LoRa(Long Range) 또는 BLE(Bluetooth Low Energy)를 보조 통신으로 하여 2중화 통신이 되는 콤보 모듈로 구성하였다.

한편 연기/CO/열 복합형 IoT 멀티 화재 감지기의 화재 감지 알고리즘을 Fig. 5에 나타내었다. 연기와 CO 또는 연기와 열의 조건이 설정된 값을 동시에 만족할 때 화재로 판단하여 경보를 전송하도록 설정되어 있다. 각 센서별 기준값은 Fig. 5에 나타낸 것과 같이 설정하였으며, 연기 및 열은 일반적인 연기 감지기와 열 감지기의 제품 사례를 바탕으로 설정하였다. 본 연구에서 CO값의 설정은 해외의 감지 기준을 활용하였다. 주요 해외 사례를 살펴 보면 ISO 7240-6에서는 30~60 ppm을 제시하고 있으며, Automatikprodukter사의 FCO는 20 ppm을 따르고 있으며, KIDDE, FireAlert, NEST 등 미국 업체들은 UL2034에 따라 70~400 ppm을 적용하고 있다. 본 연구의 IoT 멀티 화재 감지기는 이런 사례들을 고려하여 20 ppm을 기준

값으로 적용하여 개발하였으며, 화재 감지 실험에서도 이 기준값을 초과할 때 화재를 감지한 것으로 간주하였다. 그러나 향후 다양한 환경 및 조건에서의 연구를 통하여 CO의 정확한 임계값(ppm)을 선정할 필요가 있다.

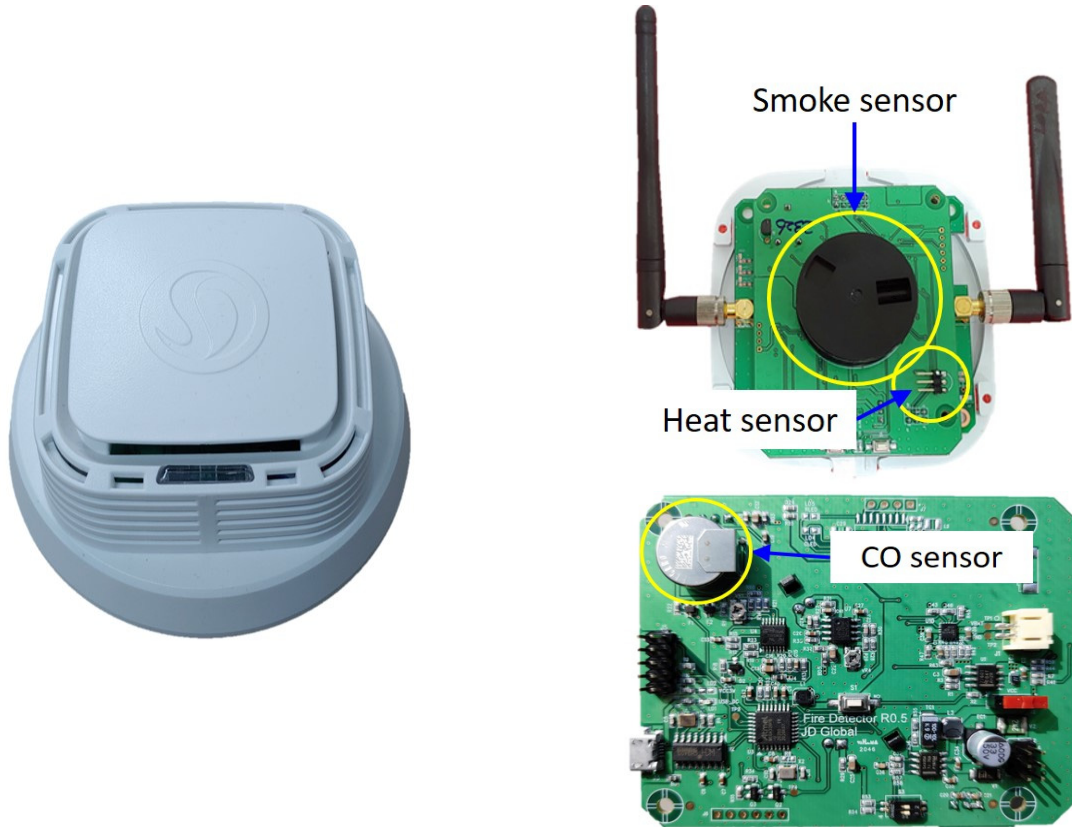


Fig. 4. Configuration of IoT multi-fire detector

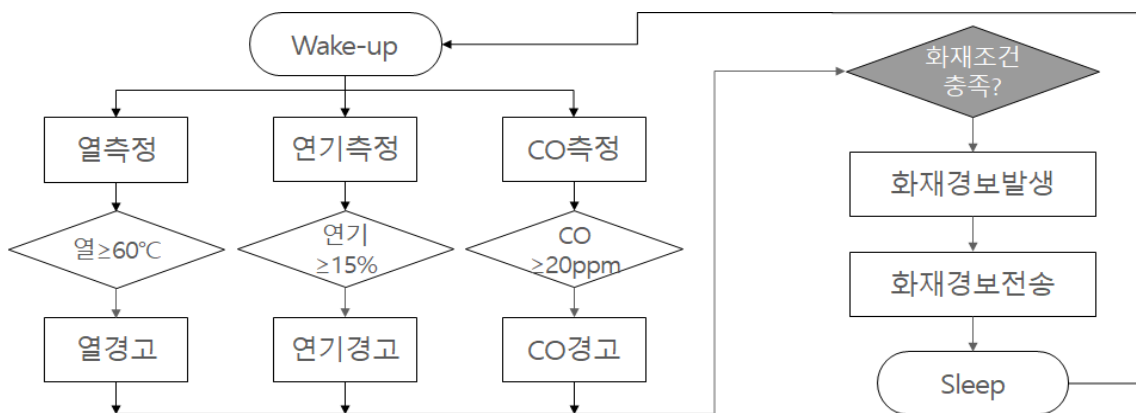


Fig. 5. Fire alarm algorithm of IoT multi-fire detector

화재감지 성능 실험 및 결과

개발된 IoT 멀티 화재감지기의 화재감지 성능 확인을 위하여 1 m(가로) × 1 m(세로) × 2 m(높이) 크기를 갖는 밀폐형 챔버를 제작하였다. 밀폐형 챔버 상부 중앙에 개발된 연기/CO/열 복합형 IoT 멀티 화재 감지기 2개를 설치하였으며 각각 연기/CO 복합형과 연기/열 복합형 모드로 동작하도록 IoT 멀티 화재 감지기를 설정하였다. 먼저 면심지 연소실험은 Fig. 6 (a)와 같이 제작한 밀폐형 챔버 내부에 길이 약 40 cm, 개당 질량 약 1.5 g의 가연물 면심지 9개를 늘어뜨려 설치하고 그 면심지의 끝부분을 점화시켜 연기를 발생시켰다. 그리고 발생된 연기에 의해 상부에 설치된 IoT 멀티 화재감지기의 화재 신호 발생 여부를 실험하였다. 또한 연기 발생기 실험은 Fig. 6(b)와 같이 동일한 밀폐형 챔버의 하부에 연기발생기를 설치하여 연기를 발생시킨 후 동일한 위치에 설치된 IoT 멀티 화재감지기의 화재신호 발생 여부를 실험하였다. 연기 발생기에서 발생된 연기는 Antari의 FLY-5 포그액(Fog Liquid)을 연소시킨 연기로서 CO가 함유되어 있지 않는 특징이 있다. IoT 멀티 화재감지기의 감지 조건은 Table 3와 같다.



(a) Closed Chamber(Cotton wicks)



(b) Closed Chamber(smoke generator)

Fig. 6. Photo of cotton wicks fire test and smoke generator test

Table 3. Sensing condition of IoT multi-fire sensor

IoT 멀티 화재감지기	감지 조건
열감지	60 °C 이상
연기감지	15 %/m 이상
CO감지	20 ppm 이상

면심지 연소실험과 연기 발생기를 이용한 화재신호 발생여부에 관한 화재 감지 실험 결과는 Fig. 7에 나타내었다. Fig. 7(a)는 연기/CO 복합형 IoT 멀티 화재감지기의 면심지 연소실험 결과이며, Fig. 7(b)는 연기발생기를 이용한 실험 결과이다. 먼저 Fig. 7(a)를 살펴보면 시간이 지남에 따라 일산화탄소가 먼저 감지되고 증가하기 시작하며, 조금 뒤 연기가 감지되는 것을 볼 수 있다. 연기 농도가 17%로 감지되는 시각에 화재 신호가 발하였으며 이때의 일산화탄소 농도는 210 ppm이었다. 또한 면심지 연소실험을 통하여 발생한 연기 농도는 최대 50%였으며 이때의 일산화탄소 농도는 최대 252 ppm으로 측정되었다. 이에 비해 Fig. 7(b)의 연기 발생기를 이용한 실험 결과의 경우 연기 농도가 23%로 측정되었으나 일산화탄소가 거의 측정되지 않아 화재 신호를 발하지 않았다. 연기 발생기 실험에서 발생한 연기는 최대 100%였으며 일산화탄소의 최대 농도는 6 ppm으로 측정되었다.

이와 같은 결과를 통하여 연기/CO 복합형 IoT 멀티 화재감지기가 면심지 연소를 통하여 먼저 발생한 일산화탄소를 감지하였으나 화재 신호를 발하지 않고 있다가 얼마 후 연기 농도가 17%로 감지되었을 때 비로소 화재 신호를 발하는 것을 확인할 수 있었으며, 이것은 개발된 화재감지기가 일산화탄소가 함유된 연기인 경우에만 화재신호를 발신하는 것으로부터 일산화탄소가 다량으로 발생하지 않는 LNG 취급소 등을 제외한 화재에 대해서는 비화재보를 저장할 수 있는 방법으로 그 가능성이 있다고 볼 수 있다.

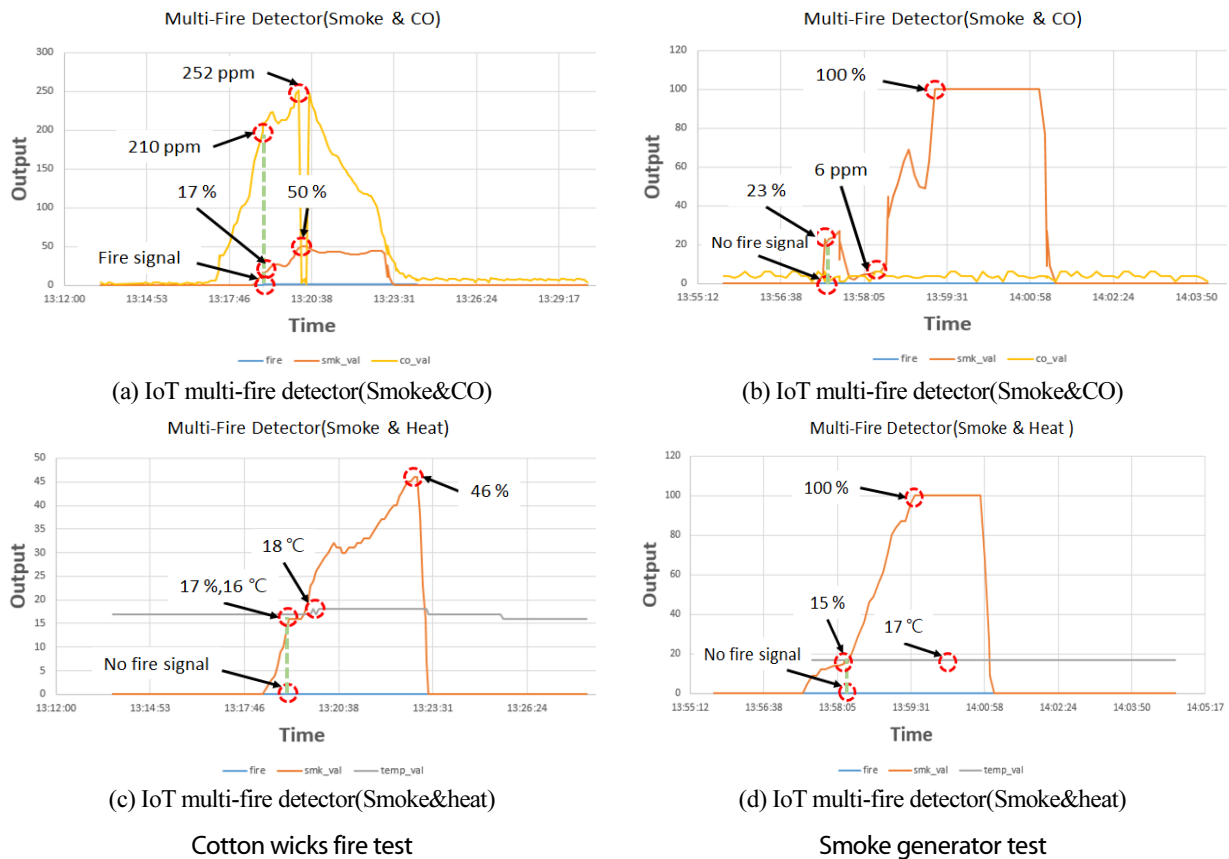


Fig. 7. Comparison of detect performance of IoT multi-fire sensors

한편, 연기/열 복합형 IoT 멀티 화재 감지기 경우에는 Fig. 7 (c) and (d)와 같이 면심지 연소 실험에서 연기 농도가 17%일 때 온도가 16°C 정도로 열의 부족에 의해 화재 신호를 발하지 않았으며, 최대 연기 농도는 46 %이며, 최대 온도는 18 °C로 측정되었으나 화재신호는 발신하지 않았다. 또한 연기발생기의 실험에서는 연기 농도가 15%일 때 온도가 17 °C로 열의 부족으로 화재 신호를 발하지 않았다. 연기의 최대 농도가 100%일 때도 온도가 17 °C이기 때문에 화재 신호를 발하지 않았다. 이와같이 연기/열 복합형 IoT 멀티 화재감지기는 일정 연기 농도를 감지하여도 열의 부족으로 화재 신호를 발하지 않으므로 연기 발생 후 화재 확산 등으로 열이 충분히 발생되어야 화재 신호를 발하는 것을 예측할 수 있어 비화재보의 저감 가능성을 볼 수 있다. 그러나 연기/열 복합형보다는 연기/CO 복합형이 화재 신호를 빨리 발할 수 있으므로 빠른 화재 감지가 필요한 장소에는 연기/CO 복합형 IoT 멀티 화재감지기가 설치되는 것이 바람직하다고 할 수 있겠다.

결론

본 연구에서는 연기/CO/열의 3가지 센서 복합형 IoT 멀티 화재 감지기를 개발하여 화재 감지 실험을 실시하였다. 밀폐형 챔버를 제작하여 챔버 내에서 면심지 연소실험과 연기발생기 실험을 실시하여 화재 감지 성능을 확인하고 비화재보를 저감할 수 있는 가능성을 고찰하였다. 그 결과는 다음과 같다.

- 1) 연기/CO 복합형 IoT 멀티 화재감지기인 경우는 일산화탄소를 먼저 감지하여도 연기를 감지하지 않으면 화재 신호를 발하지 않았다. 화재 신호를 발한 CO농도는 210 ppm이고 연기농도는 17%였으며, CO와 연기 농도가 설정된 기준값 이상 감지되어야 화재 신호를 발하는 것을 확인하였다.
- 2) 연기/열 복합형 IoT 멀티 화재감지기인 경우는 연기 농도에 먼저 반응을 하여도 온도 조건이 만족되지 않으면 화재 신호를 발하지 않는 것을 확인하였다.

이런 결과를 통하여 개발된 화재감지기를 활용한다면 화재로 인하여 CO가 설정값 이상 함유된 연기에만 화재 신호를 발하게 할 수 있을 것이다. 또한 연기 뿐만 아니라 열 발생도 충분한 화재에만 화재신호를 발하게 하는 것도 가능할 것이다. 많은 화재가 불완전연소로 CO가 발생하므로 비화재보의 신뢰성을 향상을 위해 활용 가능성을 검토해 볼 수 있으나, LNG 취급소 등과 같이 완전연소에 가까운 화재 발생 시에는 오히려 화재를 인지하지 못할 우려가 있어 적용은 제한이 있을 수 밖에 없다. 또한 심부화재와 같이 다량의 연기가 발생하나 열 발생이 적은 경우에도 화재를 인지 못할 우려가 있어 적용은 제한이 있을 수 있다. 이런 우려에 대하여 본 연구에서는 개발된 연기/CO/열 복합형 IoT 멀티 화재감지기에서 두 가지 센서의 동시 감지로 화재 신호를 발하는지를 실험으로 확인하였으나, 향후 세 가지 센서의 복합 감지를 바탕으로 화재를 수신기에서 판단하는 방안에 대한 추가 연구도 필요하다는 점은 명백하다. 또한 2가지 이상의 센서가 감지함에 따른 화재발신 신호의 지연에 대한 대책도 필요하나 매우 어려운 문제이므로 장기적 연구가 뒤따라야 할 것이다. 따라서 향후 연기의 종류(미세먼지, 수증기, 요리 연기 등) 및 열(수증기의 열, 요리의 열, 유류 등)이 복합된 변화에 따른 다양한 화재 감지 실험 및 실화재 실험은 물론 세 가지 센서의 복합 검출 알고리즘 및 수신기에서의 화재 판단, 화재 발신 지연에 대한 대책에 대한 추가 연구가 진행되어야 할 것이다.

Acknowledgement

본 연구는 소방청 소방안전 및 119 구조 구급기술 연구개발 사업: 신뢰성 있는 IoT기반 화재정보설비 개발 및 실용화 연구 (2018-NFA002-006-01030000-2020) 과제명에 대한 연구비 지원으로 수행 되었으며, 이에 감사드립니다.

References

- [1] Cha, J.H. (2016). "A study on improving the standard related to fire alarm malfunction in security system." *Asia-pacific Journal of Multimedia Services Convergent with Art, Humanities, and Sociology*, Vol. 6, No. 12, pp. 675-682.
- [2] Choi, K.C. (2015). Technical recommendation to reduce false fire alarm of automatic fire detection system. Dongwon University, KFI, KR.
- [3] Kim, S.K., Yuk, H.D., Yang, S.H., Jee, S.W., Lee, C.H. (2009). "A study on the problem of tester for the field inspection of the photoelectric smoke detector." *Korean Institute of Fire Science & Engineering*, Vol. 23, No. 4, pp. 137-144.
- [4] Nahid, C., Dewan, R.M., AZM, E.C. (2019). "Computer vision and smoke sensor based fire detection system." 1st International Conference on Advances in Science, Engineering and Robotics Technology 2019, Bangladesh, Dhaka, pp.1-5.
- [5] Park, I.D., Kim, C. (2016). "A study on railway vehicles fire detection using HMI touch screen." *Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers*, Vol. 30, No. 1, pp. 38-43.
- [6] Ryu, H. (2014). "Analysis on activation characteristic of heat detectors in a compartment fire." *Journal of The Korean Society of Disaster Information*, Vol. 10, No. 4, pp. 599-609.
- [7] Ryu, H., Kim, D. (2015). "Study on the operation characteristics of heat detectors through fire and wind tunnel experiment." *Journal of The Korean Society of Disaster Information*, Vol. 11, No. 2, pp. 203-209.
- [8] Ryu, H.C. (2014). "Analysis for detector response time by installation location of heat detector." *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 14, No. 5, pp. 267-274.
- [9] Seo, B.K., Nam, S.G. (2016). "Study of the improvement of false fire alarms in analog photoelectric type smoke detectors." *Korean Institute of Fire Science & Engineering*, Vol. 30, No. 5, pp. 108-115.