[Research Paper]

UL 268 비화재보실험에 따른 화재감지기 및 실내 공기질 측정 인자의 응답특성에 관한 연구

최유정 · 최수길* · 남영재* · 유재현* · 황의홍** · 이성은*** · 김시국****†

호서대학교 안전공학과 대학원생, *호서대학교 소방방재학과 대학원생, **가천대학교 설비 · 소방공학과 대학원생,

***호서대학교 소방방재학과 교수

A Study on the Response Characteristics of Fire Detector and Indoor Air Quality Measurement Factor According to UL 268 Cooking Nuisance Test

Yoo-Jeong Choi · Su-Gil Choi* · Yeong-Jae Nam* · Jae-Hyeon Yu* ·
Euy-Hong Hwang** · Sung-Eun Lee*** · Si-Kuk Kim****†

Graduate Student, Dept. of Safety Engineering, Hoseo Univ.,

*Graduate Student, Dept. of Fire and Disaster Protection Engineering, Hoseo Univ.,

**Graduate Student, Dept. of Equipment System · Fire Protection Engineering, Gachon Univ.,

***Professor, Dept. of Fire and Disaster Protection Engineering, Hoseo Univ.

(Received December 09, 2020; Revised January 18, 2021; Accepted January 20, 2021)

요 약

본 논문은 UL 268 비화재보실험에 따른 화재감지기 및 실내 공기질 측정 인자의 응답특성에 관한 연구이다. 2020년에 새롭게 도입된 미국 UL 268 Cooking nuisance test를 통해 화재감지기의 응답특성을 확인하였으며, 시험 내 연기 농도는 최대 7.8 %/m로 나타났다. 연기감지기의 부작동(5 %/m) 및 1종 작동(7.5 %/m), 시험시간 내 측정된 연기 최대 농도(7.8 %/m)에 매칭된 실내 공기질 측정 인자들의 응답특성을 분석하여 비화재보방지에 적용 가능한 인자를 도출하였다. 미세먼지센서(PMS)의 PM 1.0, PM 2.5, PM 10, 연소가스분석기(CGA)의 NO, SO₂, 가스분석기(GA)의 CO, CO₂, HCHO에서 변화량을 확인하였다. 특히 본 실험에서 측정된 가장 적응성이 우수한 인자로는 PM 2.5 및 PM 10으로 비화재보 방지 인자로 활용이 가능할 것으로 생각된다.

ABSTRACT

The response characteristics of fire detectors and indoor air quality measurement factors were studied according to the UL 268 cooking nuisance test. The response characteristics of the fire detector were confirmed through the U.S. UL 268 cooking nuisance test, newly introduced in 2020; the smoke concentration in the test was found to be a maximum of 7.8 %/m. The response characteristics of the indoor air quality measurement factors matched to the smoke detector's concentration in the nonoperation test (5 %/m), type 1 smoke detector's concentration in the operation test (7.5 %/m), and maximum smoke concentration (7.8 %/m) measured in the test were analyzed to derive factors applicable to avoiding unwanted fire alarms. In this test, the variation was confirmed at PM 1.0, PM 2.5, and PM 10 of the fine dust sensor, for NO and SO₂ for the combustion gas analyzer, and for CO, CO₂, and HCHO for the gas analyzer. In particular, the most-adaptable factors measured in this experiment were PM 2.5 and PM 10, which can be utilized as unwanted-alarm factors.

Keywords : Fire detection, Unwanted alarm, UL 268 cooking nuisance test, Smoke detector, Detection factor

† Corresponding Author, TEL: +82-41-540-5732, FAX: +82-41-540-5738, E-Mail: kimsikuk@hoseo.edu

© 2021 Korean Institute of Fire Science & Engineering. All right reserved.

1. 서 론

현재 건축물 내에 설치되는 화재감지기는 화재와 일차적으로 대응하는 설비로써 화재 시 발생하는 연소생성물 중 열 또는 연기를 자동으로 감지하여 작동조건에 도달하게 되면 화재수신기에 화재신호를 송신하고, 소방설비들의 동작신호를 보내주는 핵심요소이다. 즉, 화재감지기로부터 화재신호를 수신한 수신기는 적용된 작동시퀀스에 따라 화재경보를 통해 재실자의 조기피난을 도모하고, 연동된 소화설비 및 제연설비 등을 순차적으로 작동시켜 화재피해를 최소화하게 된다^(1,2). 이와 같이 화재로 인한 피해를 최소화하기 위해서는 화재감지기의 정상작동 성능확보가 가장 기본적인 요소임에도 불구하고 설치환경 및 운용조건 등에서 발생하는 비화재보로 인해 경종정지 및 수신기 전원 차단 등 소방시스템의 정상적인 유지관리가 되지 않는 경우가 비일비재하게 나타나고 있다⁽³⁾. 2017년 동탄 메타폴리스 화재의 경우 화재발생 당시 인간의 두뇌에 해당하는 화재수신기의 전원이 차단되어 소방설비 전체의 작동실패로 이어졌고, 특히 화재발생을 최초로 감지하는 화재감지기가 무용지물이 되면서 화재경보 실패 및 지연으로 사망 4명을 포함해 52명의 사상자가 발생되었다. 이 화재의 경우 6년간 9일동안만 화재경보설비에 전원을 켜와 소방설비의 유지관리에 국민적 신뢰를 무너트린 최악의 화재사례이다⁽⁴⁾. 2018년 세일전자화재의 경우 안전불감증으로 인한 대표적인 화재사례로 화재감지기의 잦은 비화재보로 인해 사건 당일 실제 화재가 발생되었음에도 불구하고 비화재로 인식한 경비원이 수신기의 전원을 고의로 차단하여 화재경보 지연 및 소방시스템 전체가 마비되면서 9명이 사망하고 6명이 부상당한 대형화재가 발생하였다. 이 화재의 가장 큰 문제점 중 하나는 자체 대응매뉴얼에서 조차 화재감지가 작동되면, 수신기 전원을 차단하라는 문구가 붙어 있어, 소방설비의 설치당위성 조차 무용론으로 인식한 화재사례이다⁽⁵⁾. 이와 같이 화재감지기의 비화재보는 열감지기 또는 연기감지기의 작동조건과 유사한 환경이 발생되면 화재로 인식하여 동작하게 되는데, 대표적으로 난방기구의 열, 음식물 조리시 발생하는 연기, 미세먼지 및 분진 등 다양한 요인에 의해 나타나고 있다. 특히, 2015년도 화재안전기준(NFSC 203)⁽⁶⁾의 개정을 통해 취침, 숙박, 입원 등 이와 유사한 용도로 사용되는 거실의 경우 기존 열감지기에서 조기감지를 위해 연기감지기를 설치하도록 규정함에 따라 실생활에서 발생하는 비화재보 요인에 의해 연기감지기의 오작동사례가 급증하고 있다. 광산란에 의해 작동되는 연기감지기는 일상 생활속에서 발생하는 연기, 습기, 먼지 등 광산란이 일어날 수 있는 인자들로 비화재보가 나타나게 되는데, 실제로 2019년도 세종시 아파트⁽⁷⁾에서 월 771회 연기감지기의 비화재보로 인한 오작동이 발생되면서 화재조기감지를 위해 설치된 연기감지기가 신뢰성 저하로 양치기 소년이 되고 있는 실정이다. 이러한 연기감지기의 비화재

보를 줄이기 위해서는 실화재시험과 같이 실제 비화재보에 대한 시험이 필요하지만, 국내 연기감지기는 형식승인 기준⁽⁸⁾에 의거한 감도시험기에서 실시하는 부작동시험으로만 비화재보에 대한 적응성을 판단하고 있기 때문에 실제 비화재보를 방지하기에는 역부족이다. 반면, 국외 기관인 Underwriters laboratories (UL)의 경우 연기감지기의 비화재보로 인한 문제점을 해결하기 위해 UL 268 (Smoke detectors for fire alarm systems) 기준⁽⁹⁾ 개정을 통해 실제 비화재보시험인 Cooking nuisance test (요리방해인자시험) 기준을 새롭게 도입하여 2020년부터 생산된 연기감지기는 본 기준에 대한 성능시험을 적용하여 비화재보로 인한 화재감지기의 신뢰성 저하를 최소화하고 있다. 국내에서는 비화재보 저감을 위한 열·연기 감지기의 감지 알고리즘 제시⁽¹⁰⁾, UL 268에 의거한 종이, 목재 및 인화성액체 화재실험 시 광학 챔버에 대한 응답특성 연구⁽¹¹⁾, 자동화재 탐지설비의 구성 요소별 운용 실태 분석 및 법적, 시스템적, 기술적 개선을 통한 비화재보 감소 방안 제시⁽¹²⁾, 국내·외 비화재보 연구 및 비화재보 통계 DB 관리에 대한 문헌조사와 국내 비화재보 연구 및 통계 및 관리 체계의 문제점과 이에 대한 개선방향 제시⁽¹³⁾에 관한 내용을 연구하였으며, 국외에서는 비화재보 감소를 위한 지능형 다중센서 감지기로 교체 제시 및 교육을 통한 비화재보 감소효과⁽¹⁴⁾, 잦은 비화재보로 인한 사람들의 화재경보 인식에 대한 문제점을 분석하였다⁽¹⁵⁾. 이와 같이 기존 국내의 비화재보 관련 연구들은 대부분 기준분석 및 사례연구, 신기술 적용 연구 등이 주로 진행되었을 뿐, 비화재보 기준에 의한 성능연구가 진행되지 않았다. 즉, 개발된 센서들에 대한 비화재보에 대한 신뢰성 검증이 대부분이며 UL 268과 같은 기준에 의한 비화재보 성능검증이 아닌 인위적인 작동조건으로 비화재보실험을 진행하여 성능검증을 하였기 때문에 시험기준에 대한 신뢰성 저하가 나타난다.

따라서 본 연구에서는 UL 268 Cooking nuisance test 기준에 의거한 비화재보실험을 진행하여 국내 연기감지기의 응답특성을 확인하고자 한다. 또한, 비화재보실험 시 연기감지기의 2종 부작동(5 %m) 및 1종 작동(7.5 %m) 기준에 매칭된 실내 공기질 측정 인자들을 응답특성을 병행 측정함으로써 비화재보 실험시 발생하는 부유물들의 응답특성을 추가적으로 확인하고, 비화재보 방지에 적용 가능한 센서들의 농도범위를 도출하고자 한다.

2. 이론적 배경

2.1 연기감지기 비화재보 발생 현황 및 원인

Table 1⁽¹⁶⁾은 2015년부터 2019년 9월까지 서울시 소방재난본부에서 화재감지기의 비화재보로 인한 오작동 출동현황을 나타낸 것으로 매년 화재감지기의 오작동으로 인한 출동 건수가 증가하는 것을 확인할 수 있다. 화재감지기의 오작동으로 인한 소방출동의 증가는 소방력 낭비로 이어

Table 1. Mobilization Status due to Fire Detector Malfunctions

Years	Number of mobilization of firefighting			Fire detector malfunctions	
	Fire	Misinformation	Sum	Number of cases	Mobilization rate
2015	5,921	2,876	8,797	250	2.8%
2016	6,443	2,378	8,821	196	2.2%
2017	5,978	2,467	8,445	270	3.2%
2018	6,368	3,736	10,104	576	5.7%
2019.09	4,536	3,594	8,130	616	7.6%
Total	29,246	15,051	44,297	1,908	4.3%

Table 2. Causes of Smoke Detector False Fire Alarms

Cause factors	Causes of false fire alarms
Artificial factors	Food Cooking Smoke, Cigarette Smoke, Mosquito Repellent & Aerosol Spray, Indoor Particulate Matter & Dust, Incomplete Combustion of Petroleum Heating Products
Functional factors	Aged Deterioration of Sensing Sensor, Aged Deterioration of Amplification Elements, Product Defect
Management factors	Building Materials (Asbestos Powder, etc.), Poor Indoor cleaning, Inflow of External Dust, Insect
Installation factors	Incorrect Installation Location, Poor Insulation and Short Circuit of Detector Wiring
Environmental factors	High Voltage and Electromagnetic/Lightning, Corrosive Gas, High Humidity and Leakage during the Rainy Season

져, 화재 시 대응인력의 부족으로 신속하고 적극적인 대처가 어려운 상황에 직면할 수 있으며, 더욱 심각한 것은 잦은 오작동으로 인해 양치기 소년과 같은 대상으로 인식이 심어질 경우 실제 화재 시 화재경보음을 오작동으로 알고 재실자가 피난을 하지 않아 초기 피난 실패로 인한 엄청난 인명피해를 초래할 수 있는 심각성을 내포하고 있다.

Table 2⁽¹²⁾는 연기감지기의 비화재보 발생원인을 나타낸 것으로 크게 인위적 요인, 기능적 요인, 관리적 요인, 설치상 요인, 환경적 요인으로 구분할 수 있다. 일례로 비화재보 요인 중 가장 빈번하게 발생하는 사례 중에 하나인 인위적 요인 중 음식물 조리 시 연기에 의한 비화재보를 보게 되면, 국내의 경우 주거공간에서 대부분 의식주를 해결하기 때문에 음식물 조리 시 발생하는 연기 및 수증기로 인해 연기감지기가 작동하게 된다. 특히, 주방후드를 켜지 않고 연기감지기가 설치된 부근 또는 좁은 공간에서 삼겹살 등을 구울 때 발생하는 연기와 우족탕과 같이 수증기가 다량 발생하는 요리 시 냄비뚜껑을 개방했을 때 비화재보로 인한 연기감지기의 오작동 가능성이 높게 나타날 수 있다.

2.2 국내 비화재보 시험기준의 한계성

감지기의 형식승인 및 제품검사의 기술기준에 의거한 연기감지기에 대한 비화재보시험은 감도시험, 분진시험, 습도시험, 내식시험 등이 있지만, 이 중 비화재보 연기농도를 결정하는 감도시험 위주로 분석하였다. 광전식 연기감지기의 감도시험은 작동시험과 부작동시험으로 구분된다.

작동시험은 감지기의 형식승인 및 제품검사의 기술기준 제 19조에 의거하여 기준에 제시된 범위에서 화재신호를 발신하여야 하며, 부작동시험은 기준 내 작동하지 아니하여야 한다. 이중 비화재보를 방지하기 위한 감도기준은 부작동시험으로 결정하고 있으며 국내 연기감지기는 비화재보의 우려 등으로 인해 감도 2종을 사용하고 있기 때문에 감도 2종에 대한 부작동시험 기준은 다음과 같다. Figure 1(a)의 감도시험기 내의 연기농도를 5 %/m (풍속 20~40 cm/s)로 유지한 상태에서 연기감지기를 투입하는 경우 5분 이내에 작동하지 않도록 규정하고 있다. 즉, 낮은 연기농도에서는 비화재보로 판단하고 연기감지기가 작동하지 않도록 규정하고 있지만, 일반적으로 연기감지기의 오작동의 경우 광산란이 발생할 수 있는 연기, 수증기, 흰색분진 등이 실생활에서 인위적인 원인 등에 의해 급격히 증가해서 발생하기 때문에 연기농도의 하한값으로만 비화재보를 판단하기에는 적응성이 저하될 우려가 있다. 또한, 연기감지기 부작동시험에 사용되는 연기 시료의 경우 Figure 1(b)에 나타낸 동양호지 No. 2 (거름종이)의 단일 시료만 사용하고 있기 때문에 적응성 저하가 나타날 수 있다. 즉, 물질마다 발생하는 연기 입자의 색상 및 크기, 분포도가 다르고 연기 외에 비화재보를 유발하는 수증기, 분진 등의 요소에는 적응성 및 신뢰성 저하가 나타날 수 있다.

이에 따라 비화재보를 방지하기 위한 실물 비화재보실험이 필요하지만, 현재 국내 형식승인 기준상에는 실물 비화재보실험에 대한 기준이 없기 때문에 본 연구에서는

(a) Sensitivity tester

(b) Smoke sample (filter paper)

Figure 1. Sensitivity tester and smoke sample (photoelectric smoke detector).

(a) Actual nuisance alarm test room size and location of measuring equipment

(b) Photograph of nuisance alarm test room

Figure 2. Location of measuring equipment in nuisance alarm test room and photograph.

2020년부터 도입된 UL 268 Cooking nuisance test 기준에 의거한 비화재보실험을 진행하였다. 또한, 연기 외에 비화재보를 유발하는 인자들의 검출을 통해 비화재보 방지에 적용 가능한 센서 및 비화재보 농도범위를 도출하고자 실내 공기질 측정 인자들을 대상으로 비화재보실험 시 발생하는 부유물들의 응답특성을 추가적으로 확인하였다.

3. 실험

Figure 2는 UL 268 Cooking nuisance test (비화재보시험) 기준에서 규정한 실험장과 동일한 규모 및 환경 조건으로 실험장의 크기는 길이 9.35 m, 폭 6.7 m, 높이 3 m로 제작하였고, 시험 화원이 되는 오븐은 후면 벽으로부터 5 ± 1.27 cm의 위치에 설치하였다. 감지기는 천장부에서 직선상 오븐과 3.05 m 떨어진 위치에 아날로그 연기감지기(Analog smoke detector, ASD)를 설치하였고 바로 뒤 시험의 적합성을 판단하는 광학농도계(Optical density meter, ODM)를 설치해 연기로 인한 감광율을 측정하여 프로파일을 도출하였으며, 광학농도계의 수광부와 발광부의 길이는 1.52 m이다. 실험이 진행되는 동안 광학농도계의 측정되는 연기농도의 감광율은 선행연구⁽¹⁷⁾를 참고하여 계산하였다. 비화재보시험 시 나타나는 감광율의 프로파일은 Figure 3

과 같이 최대 감광율과 최소 감광율 범위 내에 측정값이 나타나야 하고 감광율이 4.8 %/m가 되기 전에 화재감지기의 화재경보가 발생하지 않아야 한다. UL 268의 비화재보 시험의 경우 오븐의 가열온도 및 실험방법 등에 대한 기준 제시가 보안 및 영리의 목적 등에 의해 자세히 나와 있지 않아 본 실험의 프로파일을 도출하기 위해 많은 어려움이 있었다. 이에 따라 오븐의 가열온도 및 다양한 실험방법을 통해 유사한 프로파일을 도출하였다.

3.1 UL 268 비화재보 실험장비 및 실험시료

Figure 4는 비화재보시험 시 실내 공기질 측정 인자(이하 부유물)를 확인하기 위해 사용한 계측 장비로 Figure 2(a)의 a, b, c, d 위치에 Figure 4와 같이 형식승인을 받은 T사의 아날로그 연기감지기(Analog smoke detector, ASD), 미세먼지센서(Particulate matter sensor, PMS), 연소가스분석기(Combustion gas analyzer, CGA), 가스분석기(Gas analyzer, GA)를 설치하였다. 미세먼지센서는 미세먼지(Particulate matter)의 입자 크기에 따라 레이저 산란 방식으로 PM 1.0 (극초미세먼지, 1.0 μm 이하), PM 2.5(초미세먼지, 2.5 μm 이하), PM 10 (미세먼지, 10 μm 이하)의 농도 측정이 가능하고, 연소가스분석기는 NO, NO₂, SO₂의 변화량을 측정할 수 있으며, 가스분석기는 CO, CO₂, HCHO, HCN, TVOC의 측

Figure 3. Nuisance alarm test profile (OBS vs Time).

Figure 4. Photographs of used measuring equipment in nuisance alarm test room.

Figure 5. Experiment equipment and test method.

정이 가능한 특징이 있다. 본 실험의 아날로그 연기감지기 설치 위치에서 비화재보실험 시 발생하는 부유물에 대한 농도 값을 분석하였다.

Figure 5는 실험에 사용한 오븐과 실험방법을 나타낸 사진으로 오븐은 천장에서부터 바닥으로 1.54 m 위치에 오븐 상단표면이 위치하여야 하고 오븐 내부에 그릴(가로 31 cm, 세로 28 cm)과 석쇠(가로 36 cm, 세로 26 cm)를 내부에 넣어 내부온도를 270 °C로 설정해 예열을 진행하였다. 여기서 예열을 진행하는 이유는 비화재보실험 기준 상 연기 프로파일을 맞추기 위해 오븐의 내부온도와 그릴 및 석쇠 온도를 높여 쇠고기 패티의 연기 발생을 빠르게 하기 위한 사전 절차이다. 이후 설정 온도에 도달되어 오븐의 전원이 차단되면 오븐 개방 후 약 100~120 g의 햄버거 패티를 그

릴 중심부에 1개 놓고 좌우 양옆으로 1 cm 이격하여 총 3 개의 패티를 배치하였다. 오븐에 패티를 넣은 후 오븐의 문을 닫고 내부온도 320 °C로 설정하여 실험을 시작하였다. 300 s 경과 후 Figure 5(b)와 같이 오븐의 문을 11.5 cm 개방 후 고정하여 햄버거 패티의 연기가 배출될 수 있도록 하고 최종 1500 s 동안 실험을 지속하였다. Figure 5(c)는 용기(그릴 및 석쇠)의 위치를 나타내는 사진으로 오븐 상부의 히팅코일과 햄버거 패티의 상부 표면의 거리가 약 7 cm 이격 되도록 하였고, 추가적으로 그릴 위에 석쇠를 올리는 이유는 열대류로 인해 패티의 하부까지 열이 지속적으로 가해져야 실험시간 내에 적합한 연기가 배출될 수 있기 때문이다. 여기서 실험시간 내에 히팅코일 또는 햄버거 패티 기름에서 불꽃이나 화염이 관찰되면 실험은 실패로 간주하였다.

(a) Before hamburger patty experiment

(b) After hamburger patty experiment

Figure 6. Photographs of patties used in nuisance alarm test.

(a) ODM

(b) ASD

Figure 7. Results graph of ODM and ASD.

Figure 6은 실험 전·후의 실험 시료를 나타낸 사진으로 실험재료로 사용한 냉동 햄버거 패티(이하 패티)는 기준상 75%의 살코기와 25% 지방으로 이루어진 분쇄된 소고기를 사용하여야 하지만 국내에서는 규격에서 제시하는 패티와 동일한 제품을 구매하기 어려워 시중에 쉽게 구할 수 있는 소고기 분쇄육을 이용하여 지름 102 mm, 두께 19 mm인 패티를 제작 후 48 h 이상 냉동 보관하여 실험 직전에 꺼내어 사용하였다.

4. 실험결과 및 고찰

본 실험의 결과는 UL 268 비화재보시험 기준에 의하여 제시된 프로파일에 적합한 3개의 데이터를 기준으로 평균 값을 제시하여 분석하였다. 또한, 아날로그 연기감지기 (ASD)의 변화에 따른 실내 공기질 측정 인자의 응답특성을 확인하기 위해 국내 연기감지기 감도시험 기준인 5 %/m (2종 부작용), 7.5 %/m (1종 작동)에 매칭된 부유물의 값을 분석하였다.

4.1 UL 268 비화재보시험을 이용한 아날로그 연기감지기 응답특성 실험결과

Figure 7(a)는 UL 268 Cooking nuisance test 중 발생하는

연기로 인한 ODM의 감광 수치를 나타낸 것으로 본 실험의 적합성을 판단하였다. 기준에서 제시한 ODM 프로파일은 상한값과 하한값이 제시되어 있어 그 안으로 연기의 감광율이 측정되면 기준에 맞게 실험이 진행된 것을 의미한다. 실험결과 ODM에서 측정된 프로파일은 UL 268 기준에서 제시한 프로파일 내에 위치하였고 실험 경과 420 s부터 연기로 인한 감광이 발생하는 것으로 나타났으며, 지속적으로 상승하는 경향을 확인하였다. 이 때의 ASD의 연기농도를 비교분석하였고 Figure 7(b)에 프로파일과 일치한 3개의 ASD의 결과값을 평균화하여 나타내었다. 그래프를 분석해보면 요리 시작 후 566 s 이후 빛의 산란에 의해 연기농도가 측정되었으며, 1272 s 때 연기농도 5 %/m에 도달하였다. ASD 5 %/m는 국내 연기감지기 감도시험 기준인 2종 감지기의 부작용 농도로 감지기가 경보를 울려서는 안 되는 농도이다. 이 후 1405 s에 7.5 %/m의 연기농도가 측정되었고 총 실험시간 1500 s 까지 진행한 결과, ASD의 최댓값은 7.8 %/m로 확인하였다. ASD 7.5 %/m는 국내 연기감지기 1종작동 농도로 화재라고 인지하여야 하는 농도가 측정되었지만 본 시험은 국외기준을 적용한 비화재보시험으로 국내 감지기에서는 측정된 연기농도는 1종작동 농도에 도달하였어도 해당 시험의 목적은 국내 감도시험 내 부작용 시험과 같이 비화재시험으로 시험시간 동안 화재로 인지해

Figure 8. Results graph of indoor air quality measurement factor.

서는 안 되기 때문에 측정된 값은 비화재농도로 설정하였다.

4.2 UL 268 비화재보실험을 이용한 실내 공기질 측정 인자들의 응답특성 실험결과

ASD에서 측정된 연기농도 5 %/m (2종 부작동), 7.5 %/m (1종 작동), 7.8 %/m(시험시간 동안 연기 최대농도)를 기준으로 부유물의 변화량을 파악하기 위해 PMS, CGA, GA에서 측정된 결과값을 확인하였다. Figure 8은 시험시간 동안 측정된 부유물들의 변화량을 나타내었다. Table 3은 ASD에서 측정된 연기농도 5 %/m, 7.5 %/m, 7.8 %/m일 때 측정된 부유물의 평균값 및 시험시간 동안 측정된 부유물의 최대값을 나타낸 것이다.

ASD 5 %/m 도달시간은 1272 s로 PMS에서 측정되는 PM 1.0은 $261.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, PM 2.5는 $3079.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$, PM 10은 $4820 \mu\text{g}/\text{m}^3$, CGA의 경우 NO는 0.3 ppm, NO₂는 0 ppm, SO₂는 1 ppm, GA의 경우 CO는 10.3 ppm, CO₂는 468.6 ppm, HCHO는 2.1 ppm, HCN 및 TVOC는 0 ppm이 측정되었다. PM 1.0, PM 2.5, PM 10, NO, SO₂, CO, CO₂, HCHO는 초기값 대비 증가하는 경향성이 나타났지만, NO, SO₂, CO, CO₂, HCHO의 경우 측정된 값은 변화가 크지 않았다. NO₂, HCN, TVOC는 변화가 감지되지 않았다.

ASD 7.5 %/m 도달시간인 1405 s 기준으로 PMS의 경우

PM 1.0은 $221.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, PM 2.5는 $3311.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, PM 10은 $5794.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, CGA의 경우 NO는 0.3 ppm, NO₂는 0 ppm, SO₂는 1 ppm, GA의 경우 CO는 12.3 ppm, CO₂는 467 ppm, HCHO는 2.8 ppm, HCN 및 TVOC는 0 ppm이 측정되었다. ASD 5 %/m 대비 PM 1.0과 CO₂는 측정값이 감소하는 경향이 나타났고 PM 2.5, PM 10, CO, HCHO는 증가하는 것을 확인하였다. NO, SO₂, NO₂, HCN, TVOC는 ASD 5 %/m일 때의 값과 동일하게 측정되었다. PM 1.0의 값이 감소한 이유는 연기농도가 짙어질수록 공간 내 입자들이 뭉치면서 계측기에 측정될 때 상대적으로 입자가 큰 PM 2.5, PM 10의 값이 증가하고 입자 크기가 작은 PM 1.0의 값이 줄어든 것으로 생각된다. CO₂의 경우 감소하는 경향이 나타났지만 변화량은 1 ppm으로 거의 차이가 없는 것으로 나타났다.

실험시간 1500 s에 발생하는 부유물들의 값은 ASD는 7.8 %/m로 PMS의 경우 PM 1.0은 $213 \mu\text{g}/\text{m}^3$, PM 2.5는 $3355.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, PM 10은 $5914 \mu\text{g}/\text{m}^3$, CGA의 경우 NO는 0 ppm, NO₂는 0 ppm, SO₂는 1 ppm, GA의 경우 CO는 12.3 ppm, CO₂는 467 ppm, HCHO는 2.8 ppm, HCN 및 TVOC는 0 ppm이 측정되었다. ASD 7.5 %/m 대비 PM 1.0은 측정값이 감소하는 경향이 나타났고 PM 2.5, PM 10은 증가하는 것을 확인하였다. NO₂, SO₂, CO, CO₂, HCHO, HCN, TVOC는 ASD 7.5 %/m일 때의 값과 동일하게 측정되었으며 NO

Table 3. Average and Maximum value of Floating Matters by ASD Concentration

Division		5 %/m (1272 s)	7.5 %/m (1405 s)	7.8 %/m (1500 s)	MAX
PMS	PM 1.0 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	261.3	221.3	213	526.3
	PM 2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	3079.6	3311.3	3355.3	3377.3
	PM 10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	4820	5794.3	5914	5914.6
CGA	NO (ppm)	0.3	0.3	0	0.6
	NO ₂ (ppm)	0	0	0	0
	SO ₂ (ppm)	1	1	1	1
GA	CO (ppm)	10.3	12.3	12.3	12.6
	CO ₂ (ppm)	468.6	467	467	470.6
	HCHO (ppm)	2.1	2.8	2.8	3
	HCN (ppm)	0	0	0	0
	TVOC (ppm)	0	0	0	0

의 경우 감소하여 0 ppm으로 농도가 측정되지 않았다.

실험시간 1500 s 동안 발생한 부유물들의 최대 농도값을 확인한 결과, ASD는 7.8 %/m, PMS의 PM 1.0은 $526.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, PM 2.5는 $3377.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, PM 10은 $5914.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$, CGA의 경우 NO는 0.6 ppm, NO₂는 0 ppm, SO₂는 1 ppm, GA의 경우 CO는 12.6 ppm, CO₂는 470.6 ppm, HCHO는 3 ppm, HCN 및 TVOC는 0 ppm이 측정되었다.

비화재보시험 시 측정된 부유물은 PMS의 PM 1.0, PM 2.5, PM 10, CGA의 NO, SO₂, GA의 CO, CO₂, HCHO임을 확인하였고, 측정되지 않은 부유물들은 CGA의 NO₂, GA의 HCN, TVOC로 나타났다.

PMS에 측정된 부유물들은 ASD 보다 366 s 빠른 반응이 나타나는 것을 확인하였으며, PM 1.0은 연기농도가 증가할수록 감소하는 경향이 나타났고, PM 2.5, PM 10의 값들은 상승하는 것을 확인하였다. 이를 통해 연기농도가 높아질수록 공간 내 미세먼지 입자들이 뭉치면서 입자가 작은 미세먼지는 줄어들고 입자가 큰 미세먼지가 증가하는 것을 확인할 수 있었다.

CGA의 경우 변화량이 감지되지 않거나 변화량이 감지되어도 수치 변화가 미비하고 실험 경과 883 s부터 변화가 감지되어 ASD보다 317 s 늦게 감지되었다.

GA의 경우 CO, CO₂만 변화량이 감지되었으나, 실험 경과 652 s부터 변화량이 감지되어 ASD보다는 늦게 변화량이 감지되는 것을 확인하였고, 감지 이후 ASD와 상승하는 경향이 유사하게 나타나는 것을 확인할 수 있었다. CO의 경우 실질적인 변화량이 2 ppm정도로 상승 폭이 낮으며, CO₂는 요리로 인한 연기 발생이 증가하여도 5 %/m와 7.5 %/m의 변화량이 0.4 ppm으로 수치가 감소되는 것으로 나타났다 실험 종료까지 그 값이 유지되었다.

Figure 9, 10은 측정된 부유물의 경향이 유사한 것끼리 정리한 그래프로 3건의 데이터에서 측정된 평균값을 막대 그래프로 표시하였고 최댓값은 실선으로 나타내었으며, ASD 5 %/m, 7.5 %/m, 7.8 %/m 중 최댓값은 점선으로 표시

하였다. 그 이유는 해당 실험은 국내 감도시험의 부작동시험처럼 시험시간 동안 화재로 인지해서는 안 되는 시험으로 해당 시험에서 측정된 값은 부작동 농도로 볼 수 있다. 따라서 ASD 5 %/m, 7.5 %/m, 7.8 %/m 중 최댓값(점선)과 시험시간 내 최댓값(실선)을 기준으로 점선 아랫부분은 비화재보 범위, 실선 위의 부분은 화재감지 범위로 나타내었다.

Figure 9(a), (b), (c), (d)는 PM 2.5, PM 10, CO, HCHO로 연기농도가 증가함에 따라 해당 인자의 수치들도 증가하는 경향성이 나타났다. 해당 인자들의 수치를 확인한 결과 측정된 평균값과 최댓값의 수치가 겹쳐지지 않았으며 이를 통해 해당 인자들이 비화재보 방지 인자로 적응성이 있음을 확인하였다. 특히 PM 2.5와 PM 10의 경우 연기농도가 증가할수록 측정된 값의 변화가 확연하게 차이가 나는 것으로 보아 비화재보에 우수한 적응성이 있음을 확인하였다.

실험결과를 통해 측정된 최댓값은 PM 2.5는 $3377.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, PM 10은 $5914.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$, CO는 12.6 ppm, HCHO는 3 ppm으로 연기량에 많아질수록 해당 인자의 수치 또한 상승하기에 실제 화재에서도 적응성이 있을 것으로 생각되어 해당 수치 이상의 값이 측정될 경우 화재로 판단할 수 있을 것으로 사료된다.

Figure 10(a), (b)는 PM 1.0과 NO로 연기농도 증가 시 변화량이 감소하는 것으로 나타났으며, 연기발생량이 많아질수록 수치가 적어지는 인자의 경우에는 이미 화재 전에 값이 최댓값이 도달한 후 하강하므로 화재감지 인자로 활용 시 비화재보가 발생할 우려가 있어 감소하는 경향이 나타나는 것은 비화재보 방지 인자와 평균값과 최댓값의 비교를 통해 화재감지 범위를 도출하는 것은 무의미하다고 판단하였다. 하지만 NO의 경우 햄버거 패티 실험에서의 측정된 값은 현저히 적고 감소하는 것으로 나타났지만 샌드위치 패티, 폴리우레탄 폼의 내·외장재 소재에서는 질소(N) 성분이 연소 시 산소와 반응하여 NO가 발생하기 때문에 가연물에 따라 NO의 변화량은 측정할 수 있어 다른 가연물로 인한 시험에서는 활용이 가능할 것으로 판단된다.

Figure 9. Results graph for increasing value of floating matters in UL 268 cooking nuisance test.

Figure 10(c), (d)는 SO_2 , CO_2 로 측정값이 유지되는 것을 확인하였고 연기농도에 따른 변화가 없기에 ASD와 비교 분석이 어려울 것으로 생각된다. Figure 9(c)의 SO_2 의 경우 실선과 점선이 일치한 것으로 비화재보 방지 인자로는 활용이 불가능하지만 다른 가연물로 실험을 진행하여 수치값의 변화가 있는 경우에는 ASD와 매칭이 가능할 것으로 보여진다. Figure 9(d)의 CO_2 는 실선과 점선의 구간이 명확하게 분리되어 비화재보 방지 인자로서의 활용과 화재 범위 도출이 가능한 것으로 보여지나 CO_2 의 경우 한정된 공간에 다수의 사람이 존재할 경우 사람들의 호흡으로 인해 CO_2 의 배출량이 많아져 인원수나 환경조건에 의해 CO_2 의 값은 2000 ppm까지 상승하기 때문에 CO_2 특성상 환경적 요인으로 인해 비화재보가 발생될 우려가 있어 ASD와 비교 분석은 불가능할 것으로 사료된다.

NO , HCN , TVOC 의 경우 비화재보시험 시 변화량이 감지되지 않았다. 이러한 경우 비화재보시험에서는 ASD와 비교 매칭에 의미가 없으나, UL 268 기준에서 제시된 종이 화원, 목재화원, 인화성액체화원 등 다양한 화원을 통해 측정값이 도출된다면 화재감지 인자로 활용이 가능할 것으로 판단된다.

이를 통해 PM 2.5, PM 10, HCHO는 비화재보 방지 인자로 활용이 가능하며, 특히 PM 2.5, PM 10은 비화재보시험 시 우수한 적응성이 나타나 비화재보 방지 인자로 활용 시 비화재보 저감을 통해 화재감지기의 신뢰성 향상이 가능할 것으로 사료된다. CGA의 NO , SO_2 , GA의 CO , CO_2 , HCHO는 변화량이 미비하지만 다른 가연물로의 실험을 진행할 경우 화재감지 인자로 적용하여 범위값을 도출할 수 있을 것으로 생각된다. 변화가 감지되지 않은 NO_2 , HCN , TVOC 의 경우 비화재보시험 시 적응성이 없었지만 실화재시험에서 변화량이 감지된다면 화재감지 인자로 활용할 수 있을 것으로 생각된다.

5. 결 론

본 논문은 비화재보시험 시 발생하는 실내 공기질 측정 인자와 아날로그 연기감지기의 응답특성을 비교·분석한 연구로써 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1) 반복실험을 통하여 정량적인 UL 268 Cooking nuisance test의 프로파일을 도출할 수 있었고, 연기감지기 응답특성을 분석한 결과 실험시작 후 566 s에 연기로 인한 빛산란이 발

Figure 10. Results graph for decrease (or maintain) value of floating matters in UL 268 cooking nuisance test.

생하였으며, 1272 s 경과 후 연기농도 5 %/m에 도달하였다. 1405 s에 7.5 %/m의 연기농도가 발생하였고 시험 종료 시 연기감지기의 연기농도는 최대 7.8 %/m까지 측정되었다.

2) 비화재보시험을 이용한 실내 공기질 측정 인자의 응답특성 실험결과 PMS의 경우 PM 2.5, PM 10에서 비화재보시험 시 우수한 적응성이 나타나 비화재보 방지 인자로 활용이 가능하고, CGA의 경우 NO, SO₂, GA의 CO, HCHO는 변화량이 미비하지만 다른 가연물로의 실화재 실험을 진행할 경우 화재감지 인자로 충분히 적용 가능할 수 있을 것으로 판단된다.

이상과 같은 결과로 아날로그 연기감지기(ASD)와 실내 공기질 측정 인자를 비교 분석하여 비화재보를 저감할 수 있을 것으로 판단되지만 UL 268 기준은 국외 기준으로 국내에서의 요리재료와 차이가 있어 실효성이 떨어지는 문제점이 있다. 하지만 화재감지기의 실화재 시험기준 중 유일한 것으로 미국에서는 본 기준에 대한 성능시험을 적용하여 비화재보로 인한 화재감지기의 신뢰성 저하를 최소화하고 있다. 이에 따라 UL 268 기준을 이용하여 실험을 진행하였으며, 도출된 결과는 비화재보 저감 방안의 기초자료로 활용하고자 한다. 추후 국내 실정에 맞는 결과를 도출하

기 위해 삼겹살, 우족탕, 생선구이 등과 같은 재료로 실험을 진행하여 국내의 실화재에 적응성 있는 결과를 도출함으로써 기존 화재감지기의 신뢰성 향상이 가능할 것으로 생각되며, UL 268에서 제시하는 종이, 목재, 인화성, 폴리화재를 진행하여 비화재보실험을 통해 측정되지 않은 CGA의 NO₂, GA의 HCN, TVOC에서 증가하는 수치값이 나타나면 화재감지 인자로 충분한 적응성이 나타날 것으로 판단된다. 최종 해당 실험의 경우 화재시험과 병행 진행하여 비교 분석한다면 정확한 화재감지 영역대를 도출할 수 있을 것으로 생각되며, 본 연구의 경우 비화재보시험을 진행하여 Cooking nuisance test에 대한 화재감지 경향성의 분석으로 비화재보를 예방할 수 있는 부작용 농도를 도출하고 최종적으로 화재감지를 할 수 있는 최종 농도를 도출할 수 있을 것으로 판단된다.

후 기

이 논문은 대한민국 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단 재난안전플랫폼기술개발사업의 지원을 받아 수행된 연구임(과제번호 : NRF-2019M3D7A1095926).

References

1. H. S. Lee and S. K. Kim, "A Study on Response Characteristics of Photoelectric Type Smoke Detector Chamber Due to Dust Color", Korean Institute of Fire Science and Engineering, Vol. 31, No. 5, pp. 44-52 (2017).
2. S. K. Kim, H. D. Yuk, S. H. Yang, S. W. Jee and C. H. Lee, "A Study on the Problem of Tester for the Field Inspection of the Photoelectric Smoke Detector", Journal of Korean Institute of Fire Science & Engineering, Vol. 23, No. 4, pp. 137-144 (2009).
3. S. K. Kim, "A Study on the Address Function of Automatic Fire Alarm System for Reliability Improvement", Ph. D. Thesis, The Graduate School of Hoseo University, pp. 1-30 (2012).
4. The Hankyoreh, "'52 Casualties' Dongtan Metropolis, Only 8 Days of Fire Alarm for 6 Years", http://www.hani.co.kr/arti/area/area_general/785568.html (2017).
5. Fire Prevention News, "9 Dead Incheon Seil Electronics Fire... Four Arrest Warrants, Including Representatives", <http://www.fpn119.co.kr/104493> (2018).
6. NFSC 203, "Fire Safety Standards for Automatic Fire Alarm System and Visual Alarm Equipment" (2019).
7. https://news.sbs.co.kr/news/endPage.do?news_id=N1005323631
8. National Fire Agency 119 Notice (No. 2019-10), "Technical Standards for Formal Approval and Product Inspection of Fire Detector" (2019).
9. Underwriters Laboratories, "UL 268 Standard for Safety Smoke Detectors for Fire Alarm Systems" (2016).
10. B. K. Seo and S. G. Nam, "Study of the Improvement of False Fire Alarms in Analog Photoelectric Type Smoke Detectors", Fire Science and Engineering, Vol. 30, No. 5, pp. 108-115 (2016).
11. J. H. Lee, "A Study on the Multi-optical Smoke Detector Chamber", Ph.D. Thesis, The Graduate School of Hoseo University, pp. 1-118 (2013).
12. J. H. Lee, C. H. Lee, S. K. Kim and H. S. Kong, "A Study about False Alarm of Automatic Fire Detection System", Journal of Korea Safety Management & Science, Vol. 13, No. 1, pp. 41-49 (2011).
13. E. H. Hwang, S. E. Lee and D. M. Choi, "Statistics and Management Systems of Unwanted Domestic and Foreign Fire Alarms", Vol. 34, No. 2, pp. 30-40 (2020).
14. R. Chagger and D. Smith, "The causes of false fire alarms in buildings", Briefing Paper (2014).
15. G. Proulx, "Why Building Occupants Ignore Fire Alarms", NRC · CNRC, Construction Technology Update No. 42 (2000).
16. Pmnews, "The Malfunction of Fire Detectors Increases Every Year, and it is Feared to Promote Safety Insensitivity", <http://www.pmnews.co.kr/98142> (2019).
17. S. G. Choi, S. Y. Jin, S. M. Park, Y. J. Nam and S. K. Kim, "Research on Potential Application of Fire Detection by Measuring Fire Detection Tendency of Indoor Air Quality Measurement Factors", Fire Science and Engineering, Vol. 34, No. 1, pp. 37-46 (2020).