

음장 스펙트럼을 이용한 화재감지기의 성능비교 시험분석

이수진, 배지수, 신수인, 서건원, 오승민, 김민준, 최승규
건양대학교 재난안전소방학과
e-mail : skchoi@konyang.ac.kr

The Performance Comparison and Test Analysis of Fire Sensors Using Sound Field Spectrum

Su-jin Lee, Ji-Su Bae, Su-In Sin, Geon-Won Seo,
Seung-Min Oh, Min-Jun Kim, Seung-Kyou Choi
Department of Disaster Safety & Fire fighting, Konyang University

요 약

최근 소방청 화재 통계자료에 의하면 화재감지기의 오작동 및 미작동으로 인한 사고가 증가하고 있으며, 이는 화재 초기에 대피할 수 있는 피난 개시시간과 소방대의 화재 출동을 지연시켜 심각한 인명피해와 재산피해를 초래한다. 화재감지기의 오작동 및 미작동으로 인한 사고를 감소시키기 위해서는 화재를 신속, 정확하게 감지할 수 있는 신뢰성 높은 감지기가 요구된다. 이에 본 논문에서는 감지기의 노후화, 관리 미흡 등의 원인으로 야기되는 감지기 오작동 및 미작동의 문제점을 개선하기 위하여 연기와 열을 복합적으로 신속, 정확하게 감지할 수 있는 음장 스펙트럼을 이용한 화재방안을 제시한다. 또한 현재 일반적으로 사용하고 있는 기존 화재감지기와 제시한 음장화재감지기의 성능 비교시험을 실증한 결과 신속하고 정확한 화재감지 성능이 확인되어 오작동 및 미작동으로 인한 사고 감소에 유용하게 사용 될 수 있음을 확인하였다.

1. 서 론

2021년 소방청 화재통계연감표를 보면 화재감지기 오작동 및 미작동으로 인한 화재 사고가 373건, 인명피해는 사망 1명, 부상 22명이고 재산 피해액은 6,705,872천원으로 피해가 크게 발생하였다[1]. 또한 2021년 소방청 통계 연보에 따르면 총 19개의 본부별 현황으로 오작동은 38,119건, 특정소방대상물의 오작동의 현황은 2,291,057건으로 2011년부터 점점 증가하는 추세이다[2]. 이러한 화재감지기의 오작동 및 미작동으로 인한 화재 피해가 증가하고 있는 현실에서 화재감지기의 신뢰성을 높이기 위하여 음장 센서의 스펙트럼 분석 기술로 화재를 감지하는 방안을 제시한다.

음장(Sound Field)은 물리적으로 음이 존재하는 공간으로 음장에는 자유음장(Free Field)과 확산음장(Diffuse Field)이 있으며, 자유음장은 거주자의 활동에 의한 음장이고, 확산음장은 자유음장에 의해 발생한 강제진동이다. 확산음장의 진동은 진폭 변위를 마이크로단위로 측정하고 있으며, 자유음장에 비하여 세기 및 강도가 1/4배이다[3].

실내공간에 음을 방사하면 벽, 천장, 바닥 등에서 반사음이 겹쳐 야외에서와는 달리 복잡한 음장이 형성되는데 이를 이용하여 수신된 음향 신호에 대한 음장 정보를 획득하고, 이 음장의 정보에 대한 음장 스펙트럼을 계산하여 공간 내의 변

화 여부를 판단한다[5].

음장 스펙트럼을 이용한 화재감지 방안은 화재감시 공간의 기준 음향 스펙트럼과 연속적으로 출력된 음장 신호 사이의 교차 상관계수를 분석하여 열, 연기에 의한 확산 범위, 확산속도 및 영상정보를 외부장치로 전송하여 화재를 검출한다. 음장 스펙트럼을 이용한 화재감지 방안을 화재감지기에 적용하면 열 뿐만 아니라 연기에 의한 화재를 복합적으로 신속하고 정확하게 감지할 수 있다.

이에 본 논문에서는 기존 화재감지기의 오작동 및 미작동에 의한 피해를 줄이고, 신뢰성을 높이기 위하여 음장 스펙트럼을 이용한 화재감지 방안을 제시하고 기존 화재감지기와 음장화재감지기의 성능을 비교시험하여 유용성을 확인한다.

2. 화재사례 및 화재감지기의 오작동, 미작동 특성 분석

소방청의 통계 연보에 따르면 표 1과 같이 2018년은 42,338건, 2019년 40,103건, 2020년 38,659건으로 최근 약 40,000건의 화재가 일어나는 것을 알 수 있으며, 인명피해는 2018년에 2,594건, 2019년 2,515건, 2020년도 2,282건으로 약 2,000명의 인명피해가 발생하고 있다[6,7].

[표 1] 연도별 화재 및 인명피해 현황

구분	2011	2012	2013	2014	2015	합계
화재	43,875	43,249	40,932	42,135	44,435	214,626
인명피해	1,861	2,222	2,184	2,181	2,093	10,541

구분	2016	2017	2018	2019	2020	합계
화재	43,413	44,178	42,338	40,103	38,659	208,691
인명피해	2,024	2,197	2,594	2,515	2,282	11,612

한편 오작동 및 미작동 현황은 표 2와 같이 2018년 20,445건, 407건, 2019년 25,020건, 523건, 2020년 38,119건, 609건으로 해마다 증가하고 있다[8,9].

[표 2] 연도별 오작동 및 미작동 현황

연도별	2011	2012	2013	2014	2015	합계
오작동	4,124	2,659	16,750	17,578	23,730	41,111
미작동	68	61	55	65	73	322

연도별	2016	2017	2018	2019	2020	합계
오작동	7,347	14,477	20,445	25,020	38,119	67,289
미작동	86	99	407	523	609	1,724

또한, 기존 화재감지기의 오작동 및 미작동에 의한 피해 사례를 구체적으로 제시하며 표 3과 같이 인명과 재산피해를 발생시켰으며, 표 4와 같이 환경피해와 공적피해 및 물적피해 등의 2차 피해를 야기한다[10].

[표 3] 비화재보의 오작동 및 미작동으로 인한 피해 사례

일 자	사고 개요 및 원인
2001.05	충남 예산읍 산성리 아파트의 화재 발생, 감지기 오작동으로 일가족 4명 사망
2013.08	의왕의 한 아파트 주차장 주변에서 화재발생. 소방서서 미작동으로 주차된 차량 7대 피해
2017.02	공단 공사현장에서 공사 중 된 불꽃에 의해 화재 발생. 소방설비 미작동으로 4명 사망, 47명 부상.

[표 4] 감지기의 오작동 및 미작동으로 인한 2차 피해 사례

일 자	사고 개요 및 원인
2016.05	경기도 양주시 고속도로 터널 내에서 화재감지기의 오작동으로 인해 장비의 정상화 기간동안 환경피해와 공적피해 발생
2018.06	서울특별시 송파 공동주택 지하주차장에서 화재감지기 오작동으로 스프링클러 작동. 이로인해 소화수 수압으로 벽체가 무너지는 등 물적피해발생

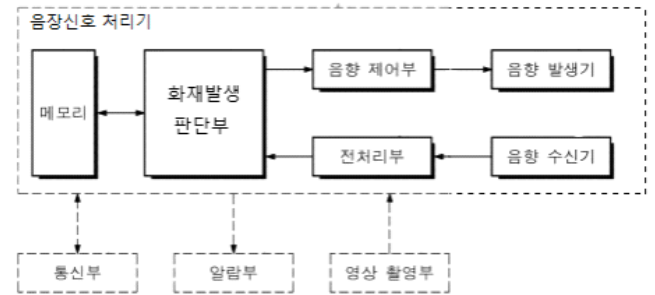
이는 기존 화재감지기 신뢰성의 한계를 보여주며, 화재 초기에 대피할 수 있는 피난 개시시간과 소방대의 화재 출동을 지연시켜 심각한 인명피해와 재산피해를 발생시키고 있어 감

지기 성능개선에 대한 대책이 요구된다.

3. 음장을 이용한 화재감지 방안

음장 스펙트럼을 이용한 화재감지 방안은 화재감지 공간의 기존 음장 스펙트럼과 연속적으로 출력된 음향 신호 사이의 교차 상관계수를 분석하여 화재 검출하고 확산 범위, 확산 속도, 영상정보를 외부장치로 전송하여 확인한다[11,12].

음장을 이용한 화재감지 방안은 음향신호발생기의 감시공간 내에 음향신호를 연속적으로 출력하고 반사된 음향을 음향 수신기가 연속적으로 수신하여 연속된 음향신호에 대해 음장 정보를 분석한다. 구체적으로 그림 1과 같이 음향 제어부, 전처리부, 화재 판단부 및 메모리로 구성되어 화재 발생 여부를 확인한다. 음향수신기는 수신한 음파를 전처리부에서 처리하여 화재발생 판단부로 출력하며 음향 수신기를 통해 수신된 음향 신호를 이용, 화재 여부를 확인하고 화재발생 판단부에서 수신한 값을 메모리에 저장한다. 또한 화재 발생시 화재감지 공간 내부를 녹화하고 외부장치로 전송할 수 있는 영상촬영부에서 감시공간 내부의 영상정보 서버로 전송한다.



[그림 1] 음장화재감지기 개념도

또한 음장 정보에 대한 기준 음장스펙트럼과 화재시 발생하는 음장 스펙트럼과의 교차 상관관계를 식 1에 의해 계산하여 화재 여부를 판단한다.

$$R_{i,j}(m) = \frac{\sum_{n=1}^{N-m} (S_j(n+m) - \text{mean}(S_j))(S_i(n) - \text{mean}(S_i))}{\sqrt{\sum_{n=1}^N (S_i(n) - \text{mean}(S_i))^2} \sqrt{\sum_{n=1}^N (S_j(n) - \text{mean}(S_j))^2}} \quad (m \geq 0) \quad (1)$$

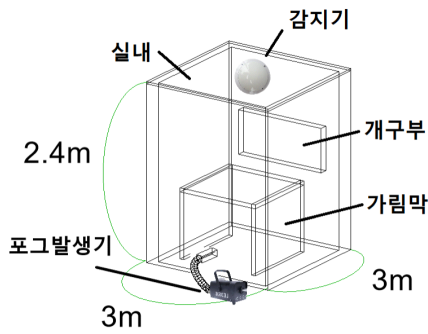
음장화재감지기는 시간별 음장 스펙트럼의 변화 패턴을 측정 및 분석하여 기준 음장의 시간주기 및 화재감지 상황 판단 값을 설정할 수있어 기존 감지기의 오작동과 미작동 문제를 해결 할 수 있다.

4. 화재감지기 성능의 비교시험 및 분석

4.1 시험 조건

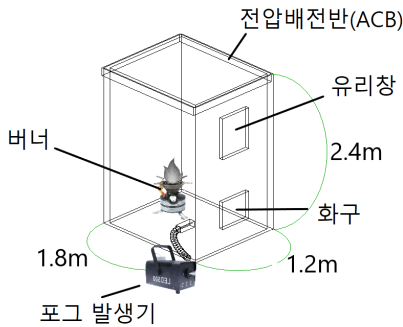
화재시험은 온도 및 연기에 의한 실내와 저압 배전반(ACB PANEL)의 모의 화재로 3회차에 걸쳐 시험하였으며, 환경조건은 온도 (23 ± 5)℃, 습도 (30 ~ 70)% R.H.으로 화재 감지기의 종류는 음장, 연기, 차동식, 열화상, 정온식, 불꽃감지기를 대상으로 시험한다.

실내화재시험실은 그림 2와 같이 크기는 폭 3m, 가로 3m, 높이 2.4m이며 앞면에 개구부, 천장에 감지기를 설치, 화원으로 버너를 사용하고, 연기는 포그(fog) 발생기를 사용한다.



[그림 2] 실내 모의화재시험실 구조

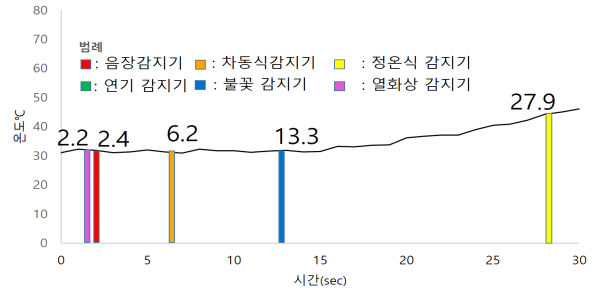
저압배전반 화재시험실은 폭 1.8m, 가로 1.2m, 높이 2.4m로 실내화재시험실과 같이 앞면에 개구부, 천장에 감지기를 설치, 열원은 버너를 사용하고, 연기원은 포그(fog) 발생기를 사용한다.



[그림 3] 저압배전반(ACB PANEL) 모의화재시험실 구조

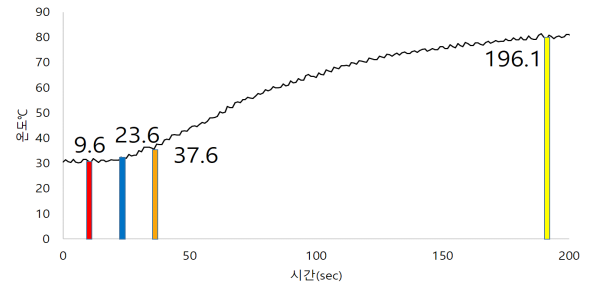
4.2 비교시험 결과 및 분석

시험 조건에 따라 3회 반복시험 결과를 가중평균하여 분석하면 다음과 같다. 실내화재의 장애물이 없을 경우에 온도 시험결과는 그림 4와 같이 열화상 2.2초, 차동식 6.2초, 불꽃 13.3초, 정온식 27.9초, 음장 2.4초로 작동하였으며 연기감지기는 작동하지 않았다.



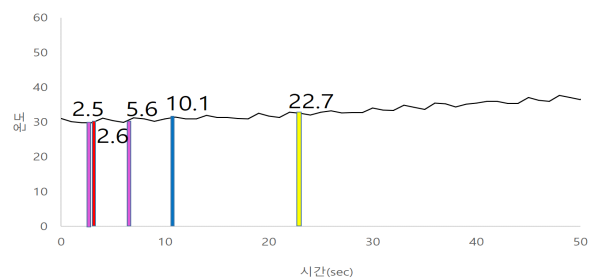
[그림 4] 화재감지기 실내 작동시험 결과(장애물 없는 경우)

실내화재의 장애물이 있을 경우에 온도 시험 결과는 그림 5와 같이 음장 9.6초로 기타 감지기에 비해 14초 이상 더 빠른 것을 확인할 수 있으며 열화상과 연기감지기는 작동하지 않았다.



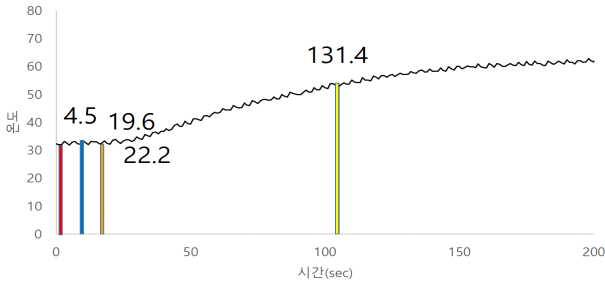
[그림 5] 화재감지기 실내 작동시험 결과(장애물 있는 경우)

저압 배전반(ACB PANEL)의 장애물이 없을 경우에 화재 시험 결과는 그림 6과 같이 열화상 2.5초, 음장 2.6초, 차동식 5.6초, 불꽃 10.1초, 정온식 22.7초 순으로 음장감지기가 빠르게 작동하였다.



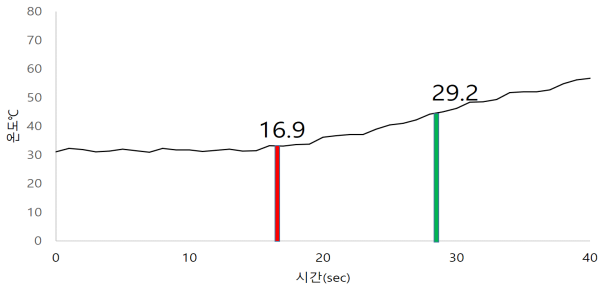
[그림 6] 화재감지기 저압배전반 작동시험 결과(장애물 없는 경우)

저압 배전반(ACB PANEL)의 장애물이 있을 경우에 화재 시험 결과는 그림 7과 같이 음장감지기가 4.5초로 기타 감지기보다 15초 이상 빠르게 작동하였음을 확인하였고, 열화상 감지기는 작동하지 않았다.



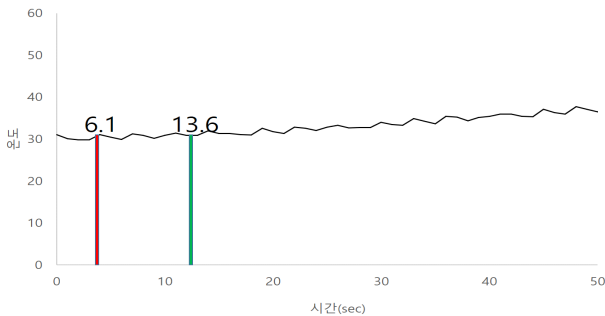
[그림 6] 화재감지기 저압배전반 작동시험 결과(장애물 있는 경우)

실내화재의 연기 시험 결과는 그림 8과 같이 음장 16.9초, 연기 29.2초로 음장화재감지기가 연기감지기보다 약 23초 정도 빠른 것을 알 수 있다.



[그림 8] 연기감지기 작동시험 결과(실내 화재시험)

저압 배전반의 연기 시험 결과는 그림 9와 같이 음장 6.1초, 연기 13.6초로 음장화재감지기의 감지가 더 빠르게 작동하였다.



[그림 9] 연기감지기 작동시험 결과(저압배전반 화재시험)

5. 결 론

최근 소방청 화재 통계자료에 의하면 화재감지기의 오작동 및 미작동으로 인한 사고가 증가하고 있으며, 이는 화재 초기에 대피할 수 있는 피난 개시시간과 소방대의 화재 출동을 지연시켜 심각한 인명피해와 재산피해를 초래한다. 화재감지기의 오작동 및 미작동으로 인한 사고를 감소시키기 위해서는 화재를 신속, 정확하게 감지할 수 있는 신뢰성 높은 감지기가 요구된다. 이에 본 논문에서는 감지기의 노후화, 관리 미흡 등의 원인으로 야기되는 감지기 오작동 및 미작동의 문제점을

개선하기 위하여 연기와 열을 복합적으로 신속, 정확하게 감지할 수 있는 음장 스펙트럼을 이용한 화재방안을 제시한다. 또한 현재 일반적으로 사용하고 있는 기존 화재감지기와 제시한 음장화재감지기의 성능을 비교 시험을 수행하였다. 시험 결과를 분석한 결과, 실내화재 온도시험은 장애물의 유무에 따라 각각 음장이 2.4초, 9.6초, 저압배전반 온도시험은 장애물의 유무에 따라 각각 2.6초, 4.5초이며, 실내 및 저압배전반 연기 화재의 경우 16.9초, 6.1초로 기타 감지기에 비해 음장화재감지기는 신속하고 정확하게 화재를 감지하여 오작동 및 미작동으로 인한 사고 감소에 유용하게 사용될 수 있음을 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 교육부와 한국연구재단의 재원으로 지원을 받아 수행된 3단계 산학협력 선도대학 육성사업(LINC 3.0)의 연구 결과입니다(NTIS 과제번호.1345356198).

참고문헌

- [1] 이정배, 초고층빌딩 통합 화재방재시스템 설계 및 구현에 관한 연구, 한국산학기술학회논문지, pp39-47, 2022.02
- [2] 소방청 통계연보, 2021
- [3] 소방청 화재통계연감, 2021
- [4] 채수복, 입체 음향 저작도구를 위한 3D 음장재현 시스템 구현의 관한 연구, 석사학위청구논문, p22, 2002.01
- [5] 정원일, 주택화재에서 주거지 유형별 재산피해에 영향을 미치는 화재인자 영향분석에 관한 연구, 한국산학기술학회논문지, pp. 597-607, 2022.02
- [6] 김황준, 확산음장으로 체화된 인지표상의 개발, 공학박사 학위논문, p1-84, 2019.06
- [7] 이수상, 우리나라 비화재보 방지를 위한 연기감지기 개선 방안에 관한 연구, 석사학위논문, p1-60, 2015.12
- [8] 송봉세, 국내 공동주택 화재감지시스템의 성능개선을 위한 기초연구, 한국산학기술학회논문지, p533-538, 2014
- [9] 조성우, 정순규, 손지민, 김현탁, 임계온도스위치를 이용한 저전력 단독경보기형 정온식 감지기 개발, 한국화재소방학회 논문지, p70-76, 2019
- [10] 서병근, 소방시설 관리 개선을 위한 IOT기반의 원격감지 시스템 구축에 대한 연구, 재난과학박사 박사학위논문, p1-197, 2017
- [11] 박원희, 터널 환경측정 시스템 개발 및 측정, 한국산학기술학회논문지, pp8608-8615, 2015.12
- [12] 박수진, 화재감지기의 비화재보 저감을 위한 실태 및 유지관리에 관한 연구, 석사학위논문, p1-61, 2022.2