

# 안전 취약계층을 위한 응급안전 알람 서비스 구축방안에 관한 연구

신수인, 이동영, 차경준, 성승현, 권도엽, 한정현, 정태림, 홍승기, 최승규  
건양대학교 재난안전소방학과  
e-mail : skchoi@konyang.ac.kr

## A Study on the Establishment of Emergency Safety Notification Service for Social Vulnerability Remediation

Su-In Sin, Dong-Young Lee, Kyoung-Jun Cha, Seung-hyeon Seong, Do-Yeop Kwon,  
Jeong-Hyun Han, Tae-Lim Jung, Seung-Ki Hong, Seung-Kyou Choi  
Department of Disaster Safety & Fire fighting, Konyang University

### 요 약

재난 및 안전 관리 기본법에서 정의하고 있는 안전 취약계층은 응급상황에서 일반인보다 신체적, 인지적 대응이 늦기 때문에 위험에 노출이 될 확률이 높고, 인명 피해도 크다. 기존 안전 취약계층을 위한 응급안전 알람 서비스는 구조적 한계점으로 인하여 안전사고를 신속, 정확하게 감지할 수 없어 조기 발견과 신고가 늦어지는 상황이 발생하고 있다. 한편, 현재 안전 취약계층은 저출산과 고령화로 인하여 고령인구와 1인 가구, 독거노인이 늘어나고 있으며, 그에 따른 응급안전 사고가 증가하고 있어 이를 관리 할 수 있는 응급안전 알람 서비스 구축이 필요하다. 이에 본 논문에서는 안전 취약계층의 재난 및 응급상황에 대한 피해를 줄이고, 신속성과 신뢰성을 높이기 위하여 음장 스펙트럼을 이용한 응급안전 알람 서비스 구축 방안을 제시한다. 또한, 응급안전 알람 서비스의 시험 및 분석을 통해 기존의 응급안전 알람 서비스를 개선할 수 있어 유용함을 확인하였다.

## 1. 서 론

재난 및 안전 관리 기본법에서는 어린이, 노인, 장애인 등 재난에 취약한 사람을 ‘안전 취약계층’으로 정의하고 있다. 어린이와 노인은 재난 및 안전사고 발생 시 일반인보다 신체적, 인지적 대응이 늦기 때문에 위험에 노출될 확률이 높고, 인명 피해도 크게 발생한다.

현재 한국 사회의 어린이 인구(0~14세)는 584만 8천 명으로 전체 인구의 11.4%를 차지하고, 노인 인구(65세 이상)는 934만 9천 명으로 전체 인구의 18.3%에 달한다[1]. 장애 인구는 총 264만 명이고 전체 인구에서 등록 장애인이 차지하는 비율은 5.2%이며[2], 1인 가구의 비율은 2000년 15.5%에서 2021년 33.4%로 증가했다. 그중 65세 이상 독거노인의 비율은 2014년 18.4%에서 2021년 19.6%로 증가하고 있다[3]. 현재와 같은 고령화 현상이 지속될 때 2060년에는 전체 인구 대비 고령 인구 비중이 약 43.9%가 될 것으로 예측된다[4,5]. 고령 인구와 1인 가구, 독거노인이 늘어남에 따라 안전 취약 계층의 안전을 관리할 수 있는 서비스 구축이 절실히 필요하다.

한편, 현재 응급안전 알람 서비스에 적용되는 동작 감지기

는 8시간 단위로 동작하여 위급상황 감지에 있어 한계가 있다. 이를 해결하기 위하여 IOT 센서나 웨어러블 디바이스, 영상 감시 장치 등의 정보통신 기술을 이용하고 있다. 하지만 현재의 응급상황 감지 시스템은 신뢰성과 신속성이 떨어진다 [6,7].

이에 본 논문에서는 기존 응급안전 알람 서비스에 의한 안전 취약계층의 재난 및 응급상황에 대한 피해를 줄이고, 신뢰성과 신속성을 높이기 위하여 음장 스펙트럼 감지기를 이용한 응급안전 알람 서비스 구축 방안을 제시하고 시험 및 분석을 통해 유용성을 확인하였다.

## 2. 사회 취약계층의 안전사고 현황 분석

2022년 소방청 통계연보에 따르면 표 1과 같이 안전사고 건수는 2017년 2,788,101건, 2018년 2,924,899건, 2019년 2,929,994건, 2020년 2,766,135건, 2021년 3,148,956건으로 점차 증가하고 있다. 그중 실내 안전사고 건수는 2017년 1,209,007건, 2021년 1,398,078건으로 높은 비율을 차지한다[8].

또한, 2022년 소방청에 따르면 표 2와 같이 9세 이하 어린이의 실내 안전사고 건수는 2017년 83,408건, 2018년 84,828건, 2019년 82,770건, 2020년 48,571건, 2021년 49,911건으로 점점 감소하고 있다[9,10]. 그러나 2017년 어린이 인구수는 440만 6천 명이었으나, 2021년 어린이 인구수는 378만 3천 명으로 어린이의 실내 안전사고 비율이 줄었다고 할 수 없다.

[표 1] 연도별 실내 안전사고 현황(천 건, 백분율)

년도 항목	2017	2018	2019	2020	2021
안전사고 건수	2,788	2,924	2,929	2,766	3,148
실내 안전사고 건수	1,209	1,307	1,313	1,192	1,398
실내 안전사고 비율	43.4%	44.7%	44.8%	43.1%	44.4%
증감율		1.3%	0.1%	-1.7%	1.3%

[표 2] 연도별 어린이 실내 안전사고 현황(천 건)

년도 항목	2017	2018	2019	2020	2021
실내 안전사고 건수	1,209	1,307	1,313	1,192	1,398
어린이 실내 안전사고 건수	83	84	82	48	49
어린이 실내 안전사고 비율	6.9%	6.4%	6.2%	4.0%	3.5%

한편, 60세 이상 노인의 실내 안전사고 건수는 2017년 805,065건, 2018년 839,268건, 2019년 854,109건 2020년 805,813건, 2021년 911,381건으로 많이 늘어나고 있다[11].

[표 3] 연도별 노인 인구와 실내 안전사고 현황(천 건)

년도 항목	2017	2018	2019	2020	2021
안전사고 건수	2,788	2,924	2,929	2,766	3,148
노인 실내 안전사고 건수	805	839	854	805	911
노인 실내 안전사고 비율	28.9%	28.7%	29.2%	29.1%	28.9%

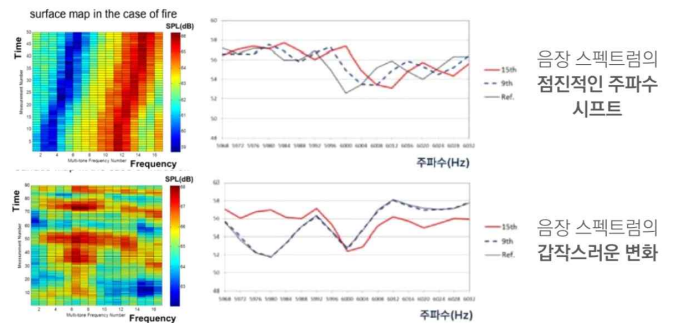
이는 기존 응급안전 알림 서비스의 신뢰성과 신속성의 한계를 알 수 있다. 2060년에는 전체 인구 대비 고령 인구 비중이 약 43.9%가 될 것으로 예측하며, 1인 가구, 독거노인, 장애인이 늘어남에 따라 신체적, 인지적 대응이 상대적으로 낮은 안전 취약 계층의 안전을 관리할 수 있는 서비스 구축이 절실히 요구된다.

### 3. 음장 스펙트럼을 이용한 응급안전 알림서비스 구축 방안

#### 3.1 음장 스펙트럼을 이용한 응급상황 감지 특성

음장 스펙트럼을 이용한 응급상황 감지 방안은 보안 공간에 스피커로 음장을 형성하고, 마이크로 수신하여 음장의 패턴 변화를 분석하여 움직임과 이상 온도 변화를 감지한다.

상기 방안을 구체적으로 설명하면, 음장 융복합 센서가 정해진 감지 공간 내에서 특정 주파수의 소리를 내장 스피커로 방사하고, 반사된 음장을 내장 마이크로 수신하여 그림 1과 같이 점진적인 음장 스펙트럼의 고주파 이동, 갑작스러운 음장 스펙트럼의 변화 등 패턴의 변화를 분석함으로써 화재, 침입, 응급상황의 여부를 감지한다.

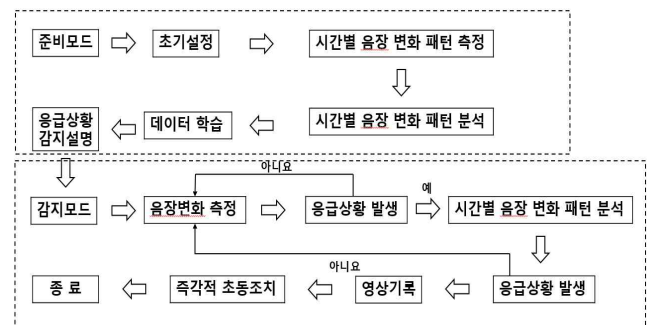


[그림 1] 음장 스펙트럼의 변화 분석도

또한, 음장을 이용하기 때문에 실내의 설치 공간의 제약 없이 설치할 수 있고, 인공지능 딥러닝을 통해 데이터를 학습하여 위급한 상황과 정상적인 상황을 구분하여 전달할 수 있다.

#### 3.2 음장 스펙트럼을 이용한 응급상황 감지 서비스 운영 알고리즘

음장 스펙트럼을 이용한 응급상황 감지 서비스 운영 알고리즘을 설명하면 그림 2와 같이 준비 모드와 감지 모드로 나뉜다.



[그림 2] 음장 스펙트럼을 이용한 응급상황 감지 서비스 운영 알고리즘

구체적으로 설명하면 준비 모드의 초기설정 단계에서 음장 융복합 센서 장치를 ON 하여 설정한 진압 대비 음장 수신 장치로 얻어진 음압의 비율을 나타내는 음장 전달함수인 식 1을 이용하여 얻어진 음압 정보의 평균값과 편차를 계산하여 저장한다.

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

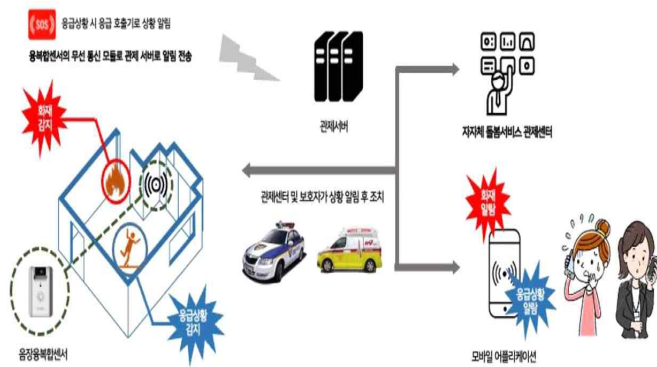
$$R_{i,j}(m) = R_{j,i}(-m), m < 0 \tag{1}$$

식 1에서  $R_{i,j}$ 는,  $i$ 번째 계산한 음장  $S_i$ 와  $j$ 번째 계산한 음장  $S_j$ 의 교차 상관계수,  $N$ 은 멀티톤 음원의 채널 수,  $m$ 은 주파수의 이동 값 단위이다[12].

이후 시간별 음장의 변화 패턴을 측정 및 분석하여 인공지능이 데이터를 학습한다. 응급상황 감지 단계에서는 학습된 데이터를 응급상황 판단 기준값을 설정한다. 감지 모드의 음장 변화 측정 단계에서는 음장 융복합 센서 장치가 시간별 음장 정보의 평균 및 편차를 계산한다.

응급상황 발생 판단 단계에서는 현재 음압 정보와 설정된 음압 정보를 각각 비교하여 응급상황 판단 기준값 이상인 경우, 응급상황으로 판단한다. 시간/주파수별 음장 변화 패턴 감지 단계에서는 응급상황으로 판단되면, 시간/주파수별 음장 변화 패턴을 분석하고, 응급상황 여부 확인 단계에서 위급한 상황인지 정상적인 상황인지 인공지능의 데이터를 통해 구분한다. 영상 기록 단계에서는 응급상황 발생 여부를 다시 한번 확인하여 신뢰성을 높인다.

한편, 응급상황으로 판단되면 그림 3과 같이 즉각적으로 관제 시스템 또는 사회복지사, 경비실, 보호자, 119안전센터 등 지정 사용자들에게 알림으로써 신속한 조치가 가능하다.



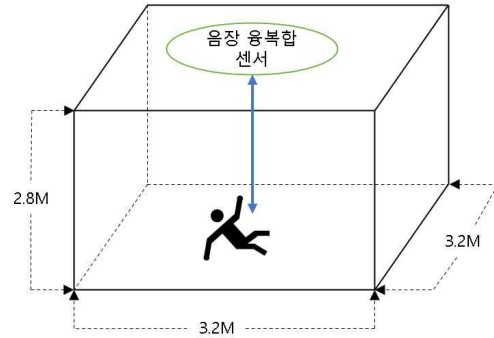
[그림 3] 음장 융복합 센서 기반의 응급안전 알림 서비스

## 4. 음장 스펙트럼을 이용한 응급안전 알림 서비스의 시험 결과 및 분석

### 4.1 시험조건 및 방법

음장 스펙트럼을 이용한 음장 융복합 센서 장치의 성능을 확인하기 위하여 그림 4와 같이 특정 공간에서 음장 센서와

응급상황을 재연한다. 스피커에 의해 발생하는 소리로 음장을 형성시키고 이를 마이크로 소음하여 데이터로 축적함과 동시에 VOS+CO2 센서가 동작 중인 상태에서 화재 시험 시 제시한 알고리즘 연산 처리 및 분석을 수행하는 음장 센서 시스템으로 응급상황 감지 성능을 평가한다.



[그림 4] 음장 스펙트럼을 이용한 응급상황 감지 시험

시험 조건은 조명을 제외한 냉난방기와 공조기는 모두 전원을 차단한다. 시험 전 30초 이상 충분한 음장 안정화 시간을 갖는다. 안정화 시간 이후 주파수는 4,000Hz, 8,000Hz, 16,000Hz, 18,000Hz를 사용한다. 이때 VOC+CO2 정상 동작 값은 eCO2=413-450ppm, TVOC=1~10ppb이다.

시험 단계는 첫 단계로 시험 장소의 설치 가능 위치에 시험 대상 기기를 설치 후 외부 공간에서 노트북을 사용하여 시험 대상 기기와 유선 랜 또는 무선 와이파이 방식으로 연결하고 음장 센서 시스템이 정상적으로 작동하는지 확인한다. 두 번째 단계로는 시험 대상 기기의 정상 작동 확인 및 VOC+CO2 안정화 이후 시험원이 응급상황을 설정된 시간에 맞춰 발생시켜 응급상황 감지 알림 여부를 확인한다.

### 4.2 시험 결과 및 분석

시험 결과는 표 4와 같이 주파수별로 3회 응급상황 감지 테스트를 시행 한 결과, 모두 응급상황 감지에 성공하였다.

[표 4] 응급상황 감지 시험 결과(건, 백분율)

Hz	시험항목	총 시험 횟수	감지 성공 횟수	감지율
4,000	응급상황 감지	3	3	100
8,000	응급상황 감지	3	3	100
16,000	응급상황 감지	3	3	100
18,000	응급상황 감지	3	3	100

응급상황 감지에 대한 성공 횟수를 기준으로 한 감지율은 식 2로 산정한다.

$$\text{감지율}(\%) = \frac{\text{감지 성공 횟수}}{\text{총 시험 성공 횟수}} \times 100 \quad (2)$$

시험 결과 4,000Hz 시험에서 총시험 횟수 3번, 감지 성공 횟수 3번으로 감지율이 100%이고, 다른 주파수 8,000Hz, 16,000Hz, 18,000Hz 시험에서도 감지율이 100%로 신뢰성 높은 감지 성능을 확인하였다[13].

위 시험으로 본 논문에서 제시한 음장 스펙트럼을 이용한 응급안전 알람 서비스 방안과 알고리즘이 적용된 감지기가 응급안전 상황을 신속하고 정확하게 감지하여 위 서비스에 대한 신뢰성을 확인하였다.

## 5. 결 론

현재 한국 사회의 전체 인구 11.4%를 차지하는 어린이 인구와 18.3%를 차지하는 노인 인구는 재난 및 안전관리 기본법에서 재난에 취약한 ‘안전 취약계층’으로 정의하고 있고, 일반인보다 위협에 노출될 확률이 높아 안전사고의 피해가 증가하고 있다. 기존 응급안전 알람 서비스에 적용되고 있는 동작 감지기는 8시간 단위로 동작해 응급상황 감지에 한계가 있어 신속성과 신뢰성이 떨어진다.

이에 본 논문에서는 기존 응급안전 알람 서비스에 의한 취약계층의 재난 및 응급상황에 대한 피해를 줄이고, 신뢰성과 신속성을 높이는 음장 스펙트럼 감지기를 이용한 응급안전 알람 서비스 구축 방안을 제시한다.

또한, 응급안전 알람 서비스의 신뢰성과 신속성을 확인하기 위하여 주파수별로 3회 응급상황 감지 테스트를 시행한 결과 4,000Hz 총시험 횟수 3번, 감지 성공 횟수 3번으로 감지율이 100%이고, 그 외의 주파수 8,000Hz, 16,000Hz, 18,000Hz 도 각각 100%의 감지율이 나타나 높은 신뢰성을 보여 기존 응급안전 알람 서비스에 적용되는 동작 감지기보다 음장 융복합 센서를 이용한 응급안전 알람 서비스가 안전 취약계층의 실내 안전사고 예방에 유용함을 확인하였으며, 기대효과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 음장을 이용한 상시 감지를 통해 감지 공백 및 감지 사각지대가 없으며, 절대적 온도 값이 아닌 온도변화의 패턴 변화를 분석하므로 응급상황 전조증상 단계에서 감지가 가능하여 응급상황 발생 시 골든타임 내 초동 조치가 가능하다.

(2) 국내 안전 취약계층을 대상으로 건설되는 임대형 주택 및 요양보호 시설, 장애인 생활시설, 양로원, 병원, 학교 등 거

주자 및 보호 대상자의 동태를 실시간으로 파악해야 하는 모든 시설 및 공간에 구축하여 인명 피해 및 재산 피해를 예방할 수 있기를 기대한다.

### 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] 행정안전부 통계연보, 연령별 인구현황, 2023
- [2] 보건복지부, 등록 장애인 등록현황, 2022
- [3] 통계청, 독거노인가구비율, 2021
- [4] 통계청, 주요연령계층별 추계인구(생산연령인구, 고령인구 등), 2021
- [5] 이호영, 머신러닝을 통한 독거노인의 행동기반 위급상황 인식 및 알람 시스템, 석사학위논문, pp.1-4, 2021.08
- [6] 이종학, 빅데이터와 머신러닝을 활용한 독거노인 응급상황 예측 모델 연구, 박사학위논문, pp.2-14, 2020.02
- [7] 고영준, 노인단독세대의 안전생활을 위한 ICT 활용 서비스디자인 제안, 한국상품문화디자인학회 논문지, pp.107-115, 2019
- [8] 소방청 통계연보, 2022
- [9] 한국소비자원 위해정보국 위해예방팀, 2021년 어린이 안전사고 동향 분석, 안전보고서, 한국소비자원, 대한민국, pp.1-3, 2022.04
- [10] 신나리, 어린이집 유아반의 안전사고 발생과 사후조치의 현황 및 정책적 시사점, 정기간행물 논문, pp.8-20
- [11] 김순옥, 장기요양기관 시설장의 노인 응급상황 인식 및 대처에 관한 연구, 한국디지털정책학회 논문지, pp.1-4, 2020
- [12] 이수진, 음장 스펙트럼을 이용한 화재감지기의 성능비교 시험분석, 한국산학기술학회 학술대회 논문지, pp.2, 2022
- [13] 최영우, 음장 스펙트럼을 이용한 화재감지기 방안에 관한 연구, 한국산학기술학회 학술대회 논문지, pp.2-4, 2022