

화재 피난 안전을 위한 스마트 IoT 기반 방화문 개폐 및 계단 적치물 실시간 감지 방안에 관한 연구

주용욱*, 주철현*, 한희준*, 정성욱*, 최승규*
 *건양대학교 재난안전소방학과
 e-mail : skchoi@konyang.ac.kr

Design of a Smart IoT-Based Real-Time Fire Door Status Monitoring and Fire Response System

Young-Guk Joo*, Cheol-Hyeon Joo*, Kang-Choi*, Hee-Jun Han*,
 Sung-Wook Jung*, Seung-Kyou Choi*
 *Department of Disaster Safety & Fire, Konyang University

요약

국내 아파트는 전체 주택의 약 64%를 차지하며, 화재 사망자의 71.2%가 연기 및 유독가스 흡입으로 사망한다. 방화문 장시간 개방은 연기의 계단실 유입 원인이며, 계단 적치물은 피난을 물리적으로 방해한다. 기존 연구들은 적치물 조사, 단일 센서 감지, IoT 모니터링 등 개별 분야에서 성과를 거두었으나 두 문제를 동시에 감지하는 통합 시스템은 제시되지 않았다. 본 논문에서는 마그네틱 도어 센서와 초음파 거리 센서를 결합하고 Arduino 기반으로 실시간 분석하여, 방화문 30초 이상 개방 및 적치물 10초 이상 감지 시 음성 안내를 자동 발령하고 관리사무소 연동 기능을 포함한 통합 시스템의 운용 방안을 제안한다.

1. 서론

국내 주택의 약 64%는 아파트이며, 이 중 상당수는 준공 후 20년 이상 경과한 노후 아파트이다[1]. 아파트는 수직 구조로 되어 있어 화재 발생 시 연기가 계단실을 통해 상층부로 빠르게 확산되며, 거주자가 밀집해 있어 단일 화재에도 대규모 인명피해로 이어질 수 있다.

연기 확산을 차단하는 핵심 시설은 방화문이다. 그러나 현장에서는 환기나 이동 편의 등 다양한 이유로 방화문이 장시간 개방되는 경우가 빈번하다[3]. 방화문이 열린 상태에서 화재가 발생하면 연기가 계단실로 유입되어 인명피해가 확대된다.

방화문 개방과 함께 피난 안전을 위협하는 또 다른 문제는 계단 적치물이다. 아파트 계단실은 피난 통로임에도 불구하고 자전거, 유모차, 택배 박스 등 각종 물품이 적치되어 피난 경로를 물리적으로 차단하고 있다[4]. 피난시설 주위 적치 행위에는 최대 300만 원의 과태료가 부과되지만, 소방 당국도 인력 한계로 신고 건만 단속하고 있어 실효성이 낮다[3].

현재 이러한 문제는 관리사무소 순찰이나 CCTV에 의존하고 있으나 24시간 실시간 감시가 불가능하다. 또한 기존 연구

들도 개별 분야에 한정되어 방화문 개방과 적치물을 동시에 감지하는 통합 시스템은 제시되지 않았다. 이에 본 논문에서는 마그네틱 도어 센서와 초음파 거리 센서를 결합한 Arduino 기반 스마트 IoT 장치를 설계하고, 방화문 개방 및 적치물 감지 시 음성 안내를 자동 발령하는 통합 시스템의 운용 방안을 제안한다.

2. 화재 사례 및 피해 현황

소방청 통계에 따르면 표 1과 같이 매년 아파트 화재가 전국적으로 빈번히 발생하고 있으며 많은 피해가 발생되고 있다.

[표 1] 아파트 화재 피해 현황

연도	총계	2019	2020	2021	2022	2023
화재건수	14,112	2,886	2,808	2,666	2,759	2,993
사망	174	28	36	34	41	35
부상	1,607	273	328	341	295	370
재산피해	57,763	10,501	10,321	13,438	10,223	13,280

또한 표 2와 같이 화재 사망 원인을 분석하면, 사망자의 71.2%가 연기 및 유독가스 흡입으로 사망하여 화상 사망

8.0%의 약 9배에 달한다. 이는 화재 시 연기 차단과 피난 경로 확보가 훨씬 중요한 과제를 명확히 보여준다[2].

[표 2] 화재 사망 원인별 비율

원인/년도	2019	2020	2021	2022	2023	총계
연기흡입	23	28	19	28	26	124
추락(뛰어내림)	2	3	3	-	3	11
화상	1	2	4	6	1	14
낙상(넘어짐)	1	-	-	-	-	1
기타	1	3	8	7	5	24

이처럼 화재 사망의 주된 원인은 연기 및 유독가스 흡입이다. 이와 함께 피난 경로를 차단하는 계단 적치물 또한 심각한 문제로, 그 실태는 표 3과 같다.

[표 3] 아파트 계단 적치물 현황

구분	수치	비율(%)	비고
조사 대상 아파트 단지 수	183개	-	공동주택 표본
조사 계단층 수	3,056개	100.0	전체 피난 계단층
장애물 존재 계단층 수	1,916개	62.7	적치물 존재
장애물 미존재 계단층 수	1,140개	37.7	정상 상태

대전 지역 183개 아파트 단지를 대상으로 조사한 결과, 전체 피난 계단층의 62.7%에서 적치물이 확인되었다[4].

이러한 통계는 실제 화재 사례에서도 확인된다. 의정부 대봉그린아파트 화재에서는 도어클로저 미설치로 각 층 방화문이 개방된 상태에서 연기가 계단실로 빠르게 유입되어 5명이 사망하고 125명이 부상당했다[5]. 서울 도봉구 아파트 화재에서도 방화문이 열린 채 방치되어 연기가 상층부까지 확산되면서 사망자 2명, 부상자 30명이 발생하였다[6].

두 사고 모두 방화문이 정상적으로 닫혀 있었다면 피해를 크게 줄일 수 있었다.

적치물로 인한 피해 역시 간과할 수 없다. 천안시 아파트에서는 계단 적치물에 불이 붙어 화재가 발생하였으며, 해당 지역에서 1년간 적치물 관련 화재가 15건 보고되었다[12]. 소방청 통계에 따르면 최근 3년간 아파트 화재 인명피해의 약 39%가 대피 과정 중에 발생하였다[13].

이상의 통계와 사례를 종합하면, 방화문 장시간 개방과 계단 적치물은 피난 안전을 동시에 위협하는 주요 요인이다. 따라서 이 두 문제를 실시간으로 감지하여 초기에 대응할 수 있는 기술적 방안이 필요하다.

3. 기존 연구 사례 분석

방화문 개방과 계단 적치물 문제에 대해 기존 연구들은 다양한 접근을 시도했다. 아파트 피난 계단의 적치물 실태를 정량적으로 조사하여 62.7%의 적치물 발생률을 밝힌 연구가

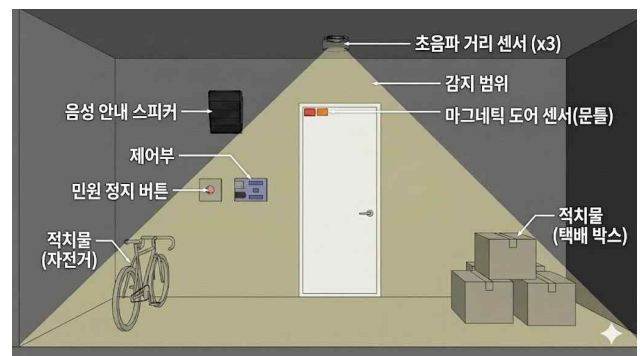
있었으며[4], 천장에 초음파 센서를 부착하여 대피공간 내 적치물을 감지하고 LED로 시각 경고하는 시스템을 개발한 연구도 있었다[8]. 또한 마그네틱 센서를 활용하여 방화문 개폐 상태를 실시간으로 모니터링하고 이력 데이터를 기록하는 IoT 시스템을 개발한 연구도 수행되었다[11].

그러나 이들 연구에는 각각 한계가 있다. 적치물 실태 조사 연구는 문제의 심각성을 통계적으로 입증했으나 자동 감지 방안이나 기술적 해결책은 제시하지 못했다. 초음파 센서 기반 연구는 자동 감지의 가능성을 보여주었으나 실험이 단일 실내 공간에 한정되어 계단실과 같은 다층 환경에서의 적용 방안은 다루지 못했다. 마그네틱 센서 기반 연구는 방화문 개폐 감지와 기록은 가능했으나, 위험 수준 판단 알고리즘이 없고 적치물 감지와 같은 복합적인 문제에는 대응하지 못하는 한계가 있다.

결국 기존 연구들은 적치물 조사, 적치물 감지, 방화문 개폐 감지 중 하나의 기능만을 수행했으며, 방화문 개방과 적치물을 동시에 감지하고 음성 안내까지 제공하는 통합 시스템은 제시되지 않았다. 본 연구는 이 공백을 보완하기 위해 두 가지 감지 기능과 음성 안내를 하나의 IoT 시스템으로 통합하는 방안을 제안한다.

4. 스마트 IoT 감지 운용 방안

본 시스템은 방화문 개방과 계단 적치물을 실시간으로 감지하여 거주자에게 음성 안내를 제공하고 자발적 조치를 유도하는 장치이다. 시스템은 감지부, 제어부, 안내부의 세 가지 모듈로 구성되며, 전체 구성도는 그림 1과 같고 세부 사양은 표 5와 같다.



[그림 1] 시스템 전체 구성도

마그네틱 도어 센서는 방화문 문틀에 센서 본체를, 문쪽에 자석을 부착하는 방식으로 설치한다. 방화문이 닫혀 있으면 본체와 자석이 근접하여 자기장이 유지되고, 문이 열리면 자석이 멀어지면서 자기장이 단절되어 열림 신호를 제어부로

전송한다. 구조가 단순하고 오작동률이 낮아 방화문 개폐 감지에 적합하다.

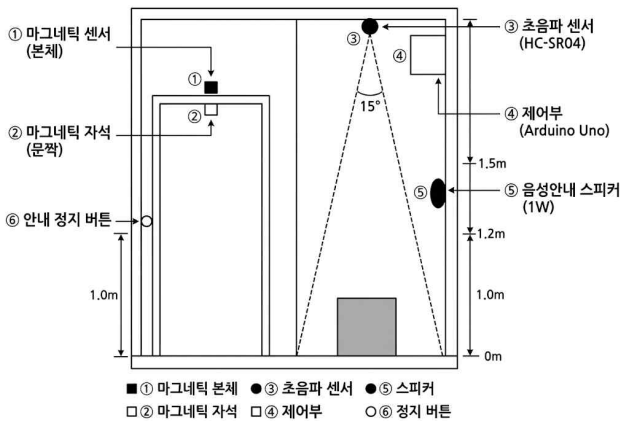
[표 5] 시스템 구성 장치 사양

구성	감지부	감지부	제어부	안내부	안내부
장치명	마그네틱 도어 센서AMS-51 CV	초음파 거리 센서 HC-SR04	Arduin o Uno	음성 안내 스피커	안내 정지 버튼
주요 사양	DC 24V 이하, 감지거리 15mm 이하, N.O 접점, 작동온도 -20°C~70°C	DC 5V, 감지 거리 2~400cm, 정밀도 0.3cm, 감지 각도 15° 이하	DC 5V, ATmeg a328P, 디지털 I/O 14핀	입력 전력 1W 이상, 높이 0.8~1.5m	즉시 정지, 10분 후 자동 재발령
설치 위치	방화문 문틀 및 문짝	계단실 천장	계단실 벽면	각 층 벽면	스피커 인근 벽면

초음파 거리 센서는 계단실 천장에 하향으로 설치하여 바닥 방향으로 원뿔 모양의 초음파를 발사하고, 반사파의 왕복 시간으로 거리를 산출한다. 설치 시 바닥까지의 기준 거리 D_0 를 측정하여 캘리브레이션을 수행하고, 이후 실시간 거리 D 와 비교하여 식 1의 조건이 충족되면 적치물이 존재하는 것으로 판단한다.

$$D_0 - D \geq 0.3m \quad (식 1)$$

여기서 D_0 는 기준 거리, D 는 실시간 측정 거리이다. 0.3m 기준은 자전거 바퀴, 수납 박스 등의 크기를 고려하여 설정하였다[4]. 초음파 센서의 감지 각도가 15°, 천장 높이 2.3m 기준 감지 반경이 약 0.3m이므로, 계단참 및 주요 지점에 복수 센서를 배치하여 사각지대를 최소화한다.



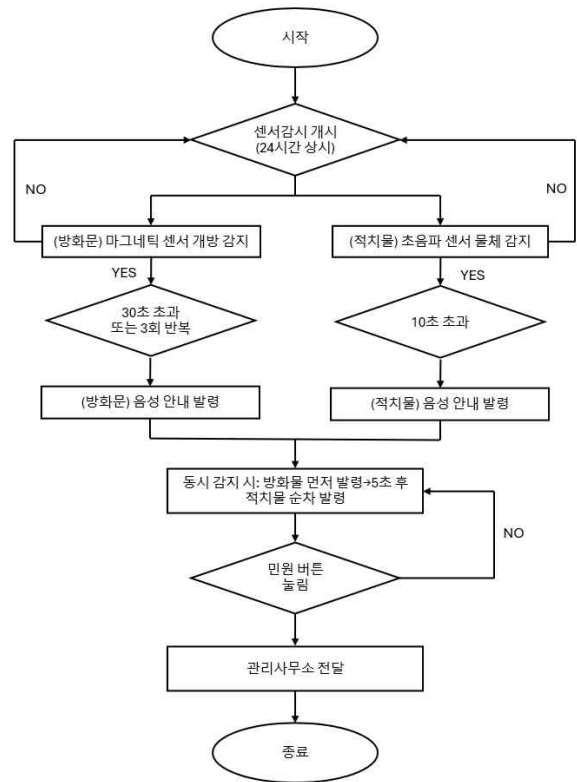
[그림 2] 센서 설치 위치 예시도

그림 2는 센서 설치 위치를 나타낸 것이다. 마그네틱 센서는 문틀과 문짝 상부에, 초음파 센서는 천장에 하향으로, 스

피커와 제어부는 벽면 또는 천장에, 안내 정지 버튼은 방화문 옆 벽면의 주민이 손쉽게 조작할 수 있는 높이에 각각 설치한다. 모든 구성 요소는 문틀, 벽면 및 천장에만 설치하므로 방화문의 구조와 방화성능을 변경하지 않으며, 소방법을 준수할 수 있다.

5. 시스템 운용 방안 및 알고리즘

본 시스템은 방화문 개방 감지와 적치물 감지를 동시에 수행하며, 각 상황에 맞는 음성 안내를 자동으로 발령한다. 방화문 장시간 개방은 화재 시 연기 유입으로 직접적인 인명피해 위험이 높으므로, 적치물 안내보다 방화문 안내를 우선 발령하도록 설계하였다. 제안하는 시스템의 운용 알고리즘을 그림 3과 같이 제시한다.



[그림 3] 시스템 운용 알고리즘 흐름도

제시한 알고리즘을 구체적으로 설명하면, [Step 1] 시스템에 전원이 공급되면 마그네틱 센서와 초음파 센서가 동시에 작동하여 방화문 개폐 상태와 계단실 적치물 여부를 24시간 상시 감지한다. [Step 2] 마그네틱 센서가 방화문 개방을 감지하면 30초 타임어가 작동한다. 30초 이내에 문이 닫히면 일반 출입으로 판단하여 정상 복귀하고, 초과 시 음성 안

내를 발령한다. 30초 기준은 일반 출입 통행 시간이 5~15초인 점을 고려하여 장시간 개방을 구분하기 위해 설정하였다. 방화문이 닫혔다 열리기를 짧은 시간 내에 3회 이상 반복하면 의도적 개방으로 판단하여 즉시 안내를 발령한다.

[Step 3] 초음파 센서가 식 1의 조건에 해당하는 물체를 감지하면 10초 타이머가 작동한다. 보행자는 계단을 통과하는 데 수 초면 충분하여 감지 범위를 빠르게 벗어나는 반면, 적치물은 고정된 상태로 지속 감지된다. 10초를 초과하면 적치물로 판단하여 음성 안내를 발령한다.

[Step 4] 방화문 개방과 적치물이 동시에 감지되면 방화문 안내를 먼저 발령하고, 5초 간격을 두고 적치물 안내를 순차 발령한다. 이는 두 안내가 동시에 출력되어 거주자가 내용을 구분하지 못하는 상황을 방지하기 위한 것이다.

[Step 5] 민원 버튼을 누르면 안내가 즉시 정지된다. 10분 후 센서가 다시 상태를 확인하여 문제가 해결되지 않았으면 자동 재발령한다. 재발령 후에도 버튼이 다시 눌리면 관리사무소로 자동 전달하여 관리 인력이 직접 확인할 수 있도록 한다. 1시간 이내에 3회 이상 버튼이 반복 눌릴 경우 안내를 정지하지 않고 관리사무소로 즉시 전달하여 악용을 방지한다. 야간에는 스피커 음량을 자동으로 낮추어 거주자의 수면권을 보호한다.

상기에서 제안한 스마트 IoT 감지 장치의 운용 방안은 관리 인력이 부족하고 도어클로저가 정상 작동하지 않는 노후 아파트에서 방화문 개방과 적치물을 실시간으로 감지하여 피난 경로 확보에 유용할 것으로 기대한다.

6. 결론

최근 아파트 화재에서는 화염보다 연기 및 유독가스로 인한 사망이 전체의 71.2%를 차지하고 있으며, 방화문의 장시간 개방과 계단 적치물은 피난 경로를 차단하여 인명피해를 확대시키는 주요 원인으로 지목되고 있다. 기존의 관리사무소 순찰이나 CCTV 확인 방식은 24시간 실시간 대응에 한계가 있으며, 기존 연구들도 적치물 조사, 센서 감지, IoT 모니터링 등 개별 분야에 한정되어 두 문제를 동시에 감지하는 통합 시스템은 부재하였다.

이에 본 논문에서는 마그네틱 도어 센서와 초음파 거리 센서를 결합하여 방화문 개방과 계단 적치물을 동시에 감지하고, 음성 안내를 자동 발령하는 스마트 IoT 장치의 운용 방안

과 알고리즘을 제안하였다. 제안한 장치는 우선순위 처리, 민원 연동, 관리사무소 자동 전달 기능을 하나의 장치로 통합하여 노후 아파트의 피난 안전성 향상에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

향후 본 논문에서 제안한 스마트 IoT 감지 장치의 운용 방안과 알고리즘을 적용한 시제품을 구현하고, 실제 노후 아파트에 시범 설치하여 장치의 현장 적용 가능성을 검증하고자 한다.

감사의 글

본 작품은 대학간 경계를 허무는 충청남도 지역혁신 중심 대학지원체계(RISE) 지원을 통해 나온 연구 결과입니다.

참고문헌

- [1] 소방청, "2024년 화재 통계 연감", 소방청, 2024
- [2] 국가화재정보센터, "화재 사망 원인별 통계", 소방청, 2022
- [3] 오상민, "'열린' 방화문 '막힌' 대피로, 울산 아파트도 화재위험 노출", 경상일보, 2023
- [4] 이원주, 이창섭, 이기영, "아파트 피난계단에 적치된 장애물의 실태와 입주민의 피난계단 관리에 대한 인식에 관한 연구", 한국화재소방학회 논문지, Vol.31, No.1, pp.116-123, 2017
- [5] 국민일보, "5명 사망한 '의정부 화재' 경기도 배상 판결 뒤집혀", 2024
- [6] 한국경제, "도봉구 아파트 화재...열린 방화문 등이 피해 키워", 2023
- [7] 이상하, "아파트 계단에 적치된 물품 사고 위험", 소방방재신문, 2019
- [8] 허광희 외, "대피공간 안정성 확보를 위한 적치물 감지센서등 개발", 한국구조물진단유지관리공학회 논문집, 2021
- [9] 조구상, 박상훈, "건물 소방안전관리를 위한 IoT 기반의 실시간 모니터링 플랫폼 개발에 관한 연구", 한국친환경건축학회 논문집, Vol.17, No.2, 2023
- [10] 국가법령정보센터, "비상방송설비의 화재안전기술기준", 소방청, 2023