연구 1-04-2026-023-15

SSIS

이슈&트렌드

발행인 김현준 | **발행처** 한국사회보장정보원 | **발행일** 2026년 11월 13일

2026 Vol. 07

| 정보시스템 ICT 신기술 |

응급안전안심서비스 화재감지기 민감작동 저감 방안 : 다중센서 데이터를 활용한 소프트 센서 기반 이상탐지 모델

한국사회보장정보원 | 김성진 연구원
한국사회보장정보원 | 임덕선 부연구위원

SSiS 한국사회보장정보원

요 약

01. 문제의식

응급안전안심서비스는 독거노인 및 장애인의 안전한 생활을 지원하기 위해 댁내장비(게이트웨이, 화재감지기, 활동량감지기 등)를 활용하여 응급상황 감지 및 대응을 수행하는 보건복지부의 주요 돌봄 서비스임. 그러나 기존 화재감지기는 단일 센서의 임계값 초과 여부만으로 화재 여부를 판단하므로, 조리 등 실제 화재가 아닌 상황에서도 경보가 발생하는 작동 문제가 있음. 이러한 민감작동은 응급관리요원의 불필요한 업무를 증가시키고 실제 응급상황에 대한 신속한 대응에도 영향을 줄 우려가 있어, 운영 효율성과 신뢰도 개선이 필요함.

02. 화재감지기 민감작동 저감 방안

본 연구는 기존 댁내장비인 화재감지기 및 게이트웨이에서 수집되는 다중 센서 데이터를 활용한 소프트 센서 기반 이상탐지 방안을 제안함. 화재 알림 지속횟수, 안방 온도·습도, 변화량, 피어슨 상관계수, 뎀프스터-셰이퍼 증거이론 기반 지표 등 6종의 파생 지표를 산출하여 실제 화재와 민감작동 간 시간적·공간적 패턴 차이를 정량화함. 이 후 LSTM 인코더와 Isolation Forest를 결합한 경량 비지도 이상탐지 모델을 적용하여 실제화재와 민감작동을 판별하는 구조를 설계함.

03. 실험 환경 및 결과

미국 국립표준기술연구소(NIST) 실험 조건과 결과를 참고하여 부엌과 안방으로 구성된 24시간 시뮬레이션 데이터셋을 구축함. 데이터셋은 총 8,640개 시점과 42개 이벤트로 구성하였으며, 80개 파라미터 조합을 그리드 평가함. 피어슨 상관계수와 뎀프스터-셰이퍼 증거이론을 함께 적용한 조합에서 F1-score 0.932, 정밀도 0.986을 기록하여 화재 판정 정밀도가 개선되었으며, 이벤트 단위 탐지 정확도 100%로 나타남. 또한, 추론 지연시간이 60ms 이하로 측정되어 저사양 엣지 장비에서의 실시간 처리 가능성을 확인함.

04. 시사점

본 연구에서 제안한 소프트 센서 기반 이상탐지 모델은 기존 댁내장비를 활용하면서 민감작동과 실제 화재를 구분할 수 있는 현실적인 개선 방안임. 실제 서비스에 적용할 경우 응급관리요원이 응급상황 대응과 대상자 안전확인에 집중할 수 있는 운영 환경 조성이 기대됨. 향후 현장 적용을 위해서는 실증 데이터 확보, 단계적 검증 및 운영 기준 마련이 필요하며, 엣지 장비 기반 실시간 분석 체계로의 확장을 포함한 중장기 추진계획 수립이 요구됨.

Ⅰ 문제의식

- 응급안전안심서비스는 독거노인 및 장애인의 안전한 생활을 지원하기 위해 댁내장비를 활용하여 응급상황을 모니터링하고, 대상자 안전확인 및 대응조치를 수행하는 보건복지부 주요 돌봄 서비스로 화재·질병 등 위기 상황 발생 시 신속한 대응 체계를 제공하는 사업임.
  - 댁내장비는 게이트웨이, 화재감지기, 활동량감지기, 응급호출기, 출입감지기 등으로 구성되며, 각 장비가 수집한 활동 데이터를 종합하여 게이트웨이를 통해 중앙서버로 전송됨.
  - 수집된 데이터는 응급안전안심서비스 운영시스템을 통해 관리되며, 응급관리요원은 이를 활용하여 응급상황 대응, 안전확인, 대상자 관리 등의 업무를 수행함.
- 화재감지기는 단일 센서의 임계값 초과 여부만으로 화재를 판단하는 구조적 한계로 인해, 응급안전안심서비스 운영 과정에서 실제 위험 상황이 아님에도 화재 알림이 발생하는 민감작동 사례가 지속적으로 발생하고 있음.
  - 민감작동은 실제 화재가 발생하지 않은 상황에서 화재 감지기가 비화재 조건을 화재로 오인하여 경보를 발령하는 현상임.
  - 응급안전안심서비스는 독거노인 및 장애인 등 자가 대응이 어려운 취약계층이 대상이기 때문에 민감작동으로 인한 경보 신뢰도 저하는 실제 위기 상황에서의 인명피해로 직결될 가능성이 있음.
  - 화재감지기는 주거 구조와 연기 흐름을 고려해 설치하며, 주로 연기를 감지해 경보를 발생시키고 일부 장비는 열감지 기능을 병행함.
  - 그러나 조리 중 발생하는 연기, 수증기나 흡연, 먼지 등으로 실제 화재가 아니어도 감지기가 반응하여 민감작동이 발생할 수 있음.
  - 2025년 국정감사에서 안상훈 의원은 2024년 기준 응급안전안심서비스의 민감·오작동이 42,784건 발생하였으며, 전체 소방 출동 28,028건 중 5,211건(약 18.6%)이 민감·오작동에 따른 출동이라며 소방력 낭비와 응급관리요원의 업무 부담을 지적함.
- 민감작동으로 발생하는 불필요한 경보 처리와 안전확인 절차는 응급관리요원의 업무 부담을 증가시키고, 한정된 운영 자원의 효율성을 저하시켜 서비스 운영 품질에 영향을 미칠 수 있음.
  - 화재 경보 발생 시 응급관리요원은 전화 안전확인, 영상통화, 주변 자원 연계, 방문 확인 등 단계별 절차를 수행해야 하며, 민감작동으로 인한 오경보 발생 시에도 동일한 절차가 적용됨.
  - 반복적인 오경보가 누적될 경우 응급안전안심서비스 이용자와 응급관리요원 모두 경보에 대한 경각심이 낮아질 수 있으며, 실제 응급상황 발생 시 대응이 지연될 우려가 있음.
  - 또한, 응급관리요원 1인이 다수 대상자를 담당하는 운영 구조 특성상, 민감작동으로 인한 반복 출동은 다른 대상자에 대한 안전확인 및 예방 업무 공백으로 이어져 서비스 질 저하를 초래할 수 있음.

II 화재감지기 민감작동 저감 방안

- 본 연구는 기존 화재감지기의 민감도나 경보 기준을 변경하지 않고, 기존 댁내 장비에서 수집되는 다중 센서 데이터를 활용한 소프트 센서 기반 이상탐지 방안을 제안하며, 추가 장비 도입 없이 경량 엣지 환경에서 실시간 처리 가능한 구조를 목표로 함.
  - 게이트웨이는 대상자가 주로 생활하는 안방에 설치되어 태블릿 내장 센서를 통해 온도 및 습도를 수집하며, 화재감지기는 주방 인근에 설치되어 연기·열 변화를 감지하는 구조임.
  - Parscal et al.(2025)은 실제 화재의 환경 변화는 인접 공간으로 확산되는 반면, 조리 등에 따른 민감작동은 주변 환경에 따라 다른 신호 특성을 보일 수 있음을 제시함. 이에 본 연구에서는 주방 화재감지기와 안방 게이트웨이의 센서 신호 변화량과 시간적 연관성을 분석하여 화재와 민감작동의 패턴 차이를 정량화하고, 화재 가능성 판단의 보조 지표로 활용하고자 함.
  - 기존 연구에서는 추가 센서를 통한 화재감지기 민감작동 저감 방안이 제안되었으나, 비용 및 유지관리 부담을 고려해 기존 센서 자원을 활용한 방안이 필요함.
  - 물리적 센서를 추가로 설치하지 않고 기존 센서 데이터를 조합·가공하여 새로운 판단 지표를 생성하는 방식인 소프트 센서를 활용하였으며(Dominik et al.), 화재감지기와 안방 게이트웨이 온습도 센서의 신호를 융합하여 실제 화재와 민감작동을 구분하는 파생 지표를 생성할 수 있음.
  - 이상탐지 모델은 소프트 센서의 파생 지표를 포함한 다변량 시계열을 입력으로 활용하며, 엣지 환경의 제약된 연산 자원을 고려해 시계열 인코더로 시간적 패턴을 압축하고 경량 이상 판별 모듈로 판정하는 비지도 학습 구조로 구성하여, 추가 장비 없이 기존 댁내장비만으로 민감작동을 저감하도록 설계함.
- 소프트 센서는 댁내장비에서 수집되는 기존 센서 신호(안방 온도, 안방 습도, 화재감지기 알람 신호)로부터 총 6종의 파생 지표를 생성하며, 각 지표는 실제 화재와 민감작동의 시간적·공간적 패턴 차이를 서로 다른 관점에서 정량화함.
  - 화재 알림 지속횟수는 화재감지기 경보가 연속으로 유지된 스텝 수를 누적 산출한 지표로, 순간적으로 발생하고 소멸하는 민감작동과 경보가 길게 유지되는 실제 화재의 차이를 반영함.
  - 안방 온도 변화량과 안방 습도 변화량은 안방 온도와 습도의 시점 간 변화폭을 산출한 지표로, 실제 화재 시 열·환경 변화가 안방까지 확산되어 지속적인 변화가 나타나며, 민감작동 시에는 안방 신호가 정상 수준을 유지하는 특성을 반영함.
  - 안방 온도 상승 지속횟수는 안방 온도가 직전 시점 대비 연속으로 상승한 스텝 수를 누적 산출한 지표로, 일시적 변동과 구분되는 실제 화재 특유의 급속적인 온도 상승 패턴을 포착함.
  - 피어슨상관관계(Pearson Correlation)는 안방 온도와 화재 알림 지속횟수 간의 상관관계를 산출한 지표로, 실제 화재 시 화재 발생 공간의 신호에 대응하여 안방 온도가 함께 변화하는 공간적 확산 패턴을 정량화함.

- 덴프스터-셰이퍼 증거이론(Dempster-Shafer Evidence Theory)은 안방 온도 변화량, 안방 습도 변화량, 화재 알림 지속횟수 세 신호를 각각 독립 증거로 변환하고 결합하여 화재 확률을 산출한 지표로, 복수 신호가 동시에 화재 패턴을 지지할 때만 높은 확률이 출력되는 융합 판단 구조를 가짐.

• 피어슨 상관관계를 소프트 센서로 채택한 것은 실제 화재 특유의 공간 확산 특성이 두 공간 간 신호의 시간 지연 상관으로 포착될 수 있다는 선행연구의 근거에 기반함.

- Yu et al.(2022)은 실제 화재 발생 시 연기 및 열기가 시간차를 두고 인접 공간으로 확산되는 특성이 센서 신호 간 상관관계로 포착될 수 있음을 화재 실험 데이터를 통해 입증하였으며, 이러한 신호 간 상관 분석이 실제 화재의 공간 확산 패턴을 반영하는 데 핵심임을 제시함.
- 응급안전안심서비스 환경에서도 부엌 화재 발생 시 열·환경 변화가 시간차를 두고 안방으로 확산되는 반면, 민감작동 시에는 안방이 거의 반응하지 않는 공간적 패턴 차이가 존재하며, 이러한 차이를 정량화하는 데 피어슨 상관계수가 적합한 수단으로 판단함.

• 덴프스터-셰이퍼 증거이론을 소프트 센서로 채택한 것은 서로 다른 종류의 센서 신호를 각각의 독립 증거로 취급하여 하나의 화재 확률로 융합할 수 있다는 방법론적 강점에 기반함.

- Ding et al.(2014)은 화재 탐지 시 서로 다른 센서 신호를 덴프스터-셰이퍼 결합으로 통합하면 단일 센서 대비 판단 정확도가 향상됨을 보였고, Fei et al.(2019)은 각 신호의 상태 지지 정도를 K-최근접 이웃(KNN) 분류기로 자동 산출하는 방식으로 발전시켜 판단 정확도를 더욱 향상시켰음.
- 응급안전안심서비스 환경에서도 안방 온도 변화량·습도 변화량·화재 알림 지속횟수와 같이 서로 다른 물리량과 단위를 가진 신호가 동시에 수집되므로 이를 통합할 판단 체계가 필요하며, 덴프스터-셰이퍼 증거이론이 복수 신호를 화재 확률로 정량화하는 데 적합한 수단으로 판단함.

• 이상탐지 알고리즘은 규칙 기반에서 통계 기반, 머신러닝, 딥러닝 기반으로 발전해왔으며, 본 연구에서는 현장 적용 조건을 고려하여 LSTM 인코더와 Isolation Forest를 결합한 경량 비지도 이상탐지 구조를 채택함.

- Chatterjee & Ahmed(2022)는 통계 기반 방법이 수학적 모델과 분포를 통해 이상치를 판단하지만 시간에 따른 환경 변화에 대응하는 데 한계가 있다고 설명함.
- 이러한 한계로 인해 유연한 조정이 가능한 데이터 기반 머신러닝·딥러닝 접근이 요구되며, 시계열 등 순차 데이터에는 LSTM(Long Short-Term Memory) 및 트렌스포머 모델이 선호된다고 정리함
- 본 연구에서는 LSTM으로 시계열 패턴을 학습해 히든스테이트로 압축하고, 계산량이 적은 Isolation Forest가 그 피처 공간에서 이상 패턴을 분리하는 역할 분담 구조를 채택하였는데, 이러한 구성은 Ali et al.(2025)이 엣지 환경에서 그 타당성을 확인한 바 있으며 레이블 없이도 현장 적용이 가능하고 경량 엣지 요건을 충족함.

Ⅲ 실험 환경 및 결과

실험 환경

- 본 실험은 응급안전안심서비스의 실제 운영 환경을 반영하기 위해 부엌(화재감지기)과 안방(게이트웨이 온습도 센서)으로 구성하여 시뮬레이션 데이터셋을 구축함.
  - 대상자 가정의 데이터 수집에는 현실적·윤리적 제약이 있어, 미국 국립표준기술연구소(NIST) 실험을 바탕으로 부엌·인접 공간의 확산 패턴을 반영한 시뮬레이션 데이터를 설계함. 다만 가구 구조·센서 설치 위치 및 생활환경 차이는 반영하지 못해 동일한 성능인지에 대한 검증은 필요함.
  - 화재감지기는 부엌 인근, 게이트웨이는 안방에 설치되는 응급안전안심서비스 설치 기준을 반영하였으며, 화재 실험 환경에서 화재 공간과 떨어진 타 공간의 화재감지기가 약 100초 내로 작동하는 시간·공간적 특성을 고려하여 실제 화재와 민감작동을 구분하는 접근 방향을 채택함.
- 실험에 활용된 물리 센서는 응급안전안심서비스 실제 운영환경과 동일하게 구성하였으며, 이로부터 이상탐지 모델의 입력값으로 사용될 소프트 센서를 파생함.
  - 부엌에 설치된 화재감지기에서는 화재 알람 여부를, 안방에 설치된 게이트웨이에서는 온도와 습도 등의 기본 데이터를 각각 수집하며, 이를 조합·가공하여 표1와 같이 소프트 센서를 생성한 후 기본 데이터와 함께 이상탐지 모델의 입력값으로 활용함.
  - 시계열 데이터는 응급안전안심서비스 운영 환경을 반영하여 10초 주기로 24시간 분량(8,640 스텝)을 생성하였으며, 학습·테스트 데이터셋을 각각 독립적으로 구성함.
  - 안방 온도·습도는 각각 24°C, 48%를 기본값으로 하여 일일 주기 사인 변동과 정규 노이즈를 반영해 실제 주거 환경의 자연스러운 변동을 재현하였으며, 부엌 화재감지기는 유럽 표준에 따라 온도 50°C 이상(EN 54-5)또는 연기 감광률 0.18%/ft 이상(EN 54-7) 조건에서 알람이 작동하는 구조로 설정함.
  - 화재 판단 기준은 부엌 화재의 경우 화재감지기 알람 발생 시점을, 안방 화재의 경우 안방 온도 50°C 초과 시점부터 부엌 화재감지기 마지막 작동 시점까지의 구간을 화재로 정의하여 NIST의 실험 결과와 같이 공간 확산 과정을 반영하였으며, 이렇게 부여된 라벨은 이상탐지 모델의 예측 결과를 실제 화재 여부와 비교하는 정답 기준으로만 사용함.
  - 다만, 본 연구는 발생한 경보의 화재·민감작동 판별을 목적으로 하므로, 발화 초기의 탐지 시점 단축은 평가 범위에 포함하지 않음.

〈표 1〉 소프트 센서 정의

센서명	INPUT	설명
화재 알림 지속횟수	화재알람여부	알람 상태가 유지되는 횟수
안방 온도 변화량	안방 온도	직전 시간과 현재 온도 차이
안방 습도 변화량	안방 습도	직전 시간과 현재 습도 차이
안방 온도 상승 지속횟수	안방 온도	기존은 0이며, 직전 단계 대비 현재 온도가 상승하면 +1씩 증가하며, 내려가면 다시 0으로 됨
피어슨 상관계수	안방 온도, 화재 알림 지속시간	$r_t = \frac{\sum_{i=t-L-1}^{n}(x_i-\overline{x_t})(y_i-\overline{y_t})}{\sqrt{\sum_{i=t-L-1}^{n}(x_i-\overline{x_t})^2}\cdot\sqrt{\sum_{i=t-L-1}^{n}(y_i-\overline{y_t})^2}}$ $\overline{x_t}=\frac{1}{L}\sum_{i=t-L+1}^{t}x_i\ ,\overline{y_t}=\frac{1}{L}\sum_{i=t-L+1}^{t}y_i$ r_t : 시점 t에서의 피어슨 상관계수 x_i, y_i : 시점 i에서의 x, y센서에 대한 신호 값 $\overline{x_t}, \overline{y_t}$: 시점 t를 기준으로 과거 L개 구간의 x와 y의 평균 L : 시퀀스 길이 t : 현재시점 - 피어슨 상관계수는 x, y신호가 같은 방향으로 같이 움직이는 정도를 −1~1값으로 나타냄
뎀프스터-셰이퍼 증거이론	안방온도, 안방습도, 화재 알림 지속시간	$(m_1\oplus m_2)(A)=\frac{\sum_{B\cap C=A} m_1(B)\cdot m_2(C)}{1-K}$ $K=\sum_{B\cap C=\varnothing} m_1(B)\cdot m_2(C),\ (m_1\oplus m_2)(\varnothing)=0$ $m_1(B)$: 센서1이 가설 B에 할당한 확률질량 $m_2(C)$: 센서2가 가설 C에 할당한 확률질량 B, C : 가설(화재, 민감작동, 불확실) $B\cap C=A$: B와 C의 교집합이 가설 A가되는 경우 $B\cap C=\varnothing$: B와 C가 서로 양립 불가능한 경우 K : 충돌계수 $1-K$: 정규화 항 $(m_1\oplus m_2)(A)$: 두 센서를 합친 후 가설 A에 대한 최종 확률

- 이벤트 시나리오는 NIST의 가정 내 화재 및 조리 민감 작동 실측 보고서를 참고하여 온도·연기 상승률(느림/빠름), 지속시간(짧게 1~2분/길게 3~4분), 확산성(느림 3분/빠름 1분)의 4축 조합으로 다양한 상황을 재현하였으며, 부엌·안방의 민감작동과 화재를 포함해 총 42개 이벤트로 구성함.
  - 부엌에서는 화재감지기가 온도와 연기 농도를 기반으로 작동하므로 연기를 시나리오 축으로 채택하였으며, 안방에서는 화재감지기가 없고 게이트웨이가 온도·습도만 수집하므로 습도를 시나리오 축으로 채택함.

〈표 2〉 민감작동 및 화재 패턴 시나리오

구분	이벤트 수	세부 조건
부엌 민감작동	32개	온도, 연기, 지속시간, 확산성 4축 조합 16종 × 2회
부엌 화재	2개	온도 빠름, 연기 빠름, 지속시간 8분, 확산 빠름 × 2회
안방 민감작동	6개	온도 느림, 습도 느림, 지속시간 짧게, 확산성 느림 × 2회 온도 느림, 습도 느림, 지속시간 길게, 확산성 느림 × 2회 온도 빠름, 습도 느림, 지속시간 길게, 확산성 느림 × 2회

- 소프트 센서 조합·contamination·시퀀스 길이의 3개 축에 대해 총 80가지 조합의 그리드서치를 수행하여 최적 파라미터를 탐색함.

〈표 3〉 이상탐지 입력 파라미터 설정

구분	세부 조건
소프트 센서 조합	미사용, 피어슨 상관계수, 뎀프스터-셰이퍼 증거이론, 피어슨 상관계수 + 뎀프스터-셰이퍼 증거이론
contamination	0.01, 0.02, 0.03, 0.04, 0.05(Isolation Forest가 전체 데이터 중 이상치로 간주할 비율의 상한값으로, 값이 클수록 더 많은 시점을 이상으로 판정)
Isolation Forest 트리수	100(이상치 분리를 위해 사용되는 랜덤 트리의 개수로, 많을수록 판정이 안정적이나 연산량이 증가하므로 통상적인 기본값을 사용함)
시퀀스 길이	6, 12, 30, 100(LSTM이 한 번에 참조하는 과거 시점의 개수로, 10초 주기 기준 1분~약 16분 범위)
LSTM 유닛 수	32(LSTM이 입력 시계열을 압축해 표현하는 히든스테이트의 차원 수로, 엣지 환경에서의 경량 실시간 처리를 위해 소규모 값으로 고정함)

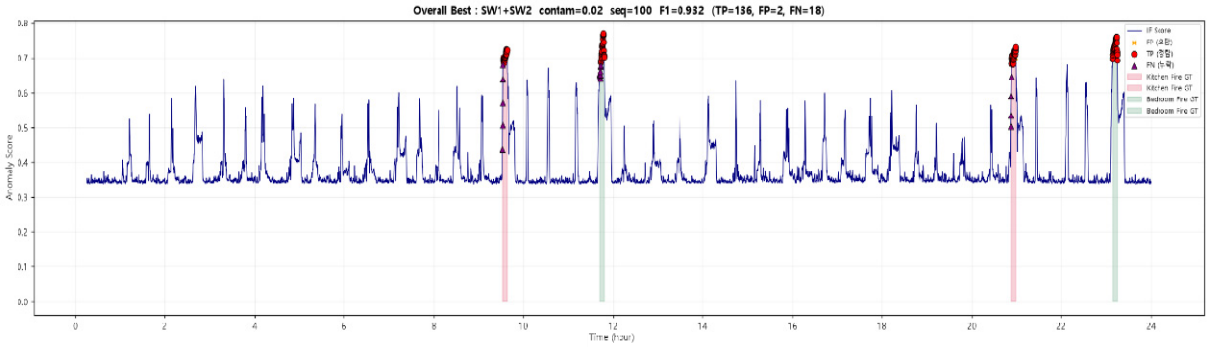
▌실험 결과

- 소프트 센서 조합·이상치 비율·시퀀스 길이의 3개 축에 대해 총 80가지 조합의 그리드서치를 수행한 결과, 피어슨상관관계 및 뎀프스터-셰이퍼 증거이론을 함께 적용한 조합이 가장 우수한 성능을 보임.
  - 정밀도는 "화재라고 판단한 것 중 실제로 화재였던 비율"로 민감작동을 얼마나 줄였는지를 나타내며, 재현율은 "실제 화재를 얼마나 놓치지 않고 잡아냈는지"를 나타내는 지표이며, F1-score는 두 지표를 균형있게 반영한 값으로 최종 성능 판단에 사용됨.
  - 표 4의 이상탐지 성능 결과, 소프트 센서 미사용 시 정밀도는 0.858이였으나, 두 센서를 함께 적용하면 0.986으로 향상됨. 이는 화재 판정 정밀도 개선을 뜻함.

〈표 4〉 이상탐지 성능 결과

소프트 센서 조합	정밀도	재현율	F1-score	최적 파라미터
기본	0.858	0.903	0.88	contamination=0.03, seq=100
피어슨상관관계	0.912	0.87	0.89	contamination=0.02, seq=12
뎀프스터-셰이퍼 증거이론	0.905	0.87	0.887	contamination=0.03, seq=6
피어슨상관관계 및 뎀프스터-셰이퍼 증거이론	0.986	0.883	0.932	contamination=0.02, seq=100

- 동시에 재현율이 0.903에서 0.883으로 소폭 감소하였으나, 그림 1과 같이 화재 이벤트마다 다수 시점에서 정탐이 이루어져 실제 화재 탐지 성능은 실질적으로 유지됨. 결과적으로 F1-score가 0.880에서 0.932로 향상되어 민감작동은 감소했으나 시점 단위 재현율은 다소 낮아져, 실제 화재 탐지 성능 유지 여부는 추가 검증이 필요함.



[그림 1] 이상탐지 발생 시점 결과

- 실제 서비스 관점에서 더 중요한 이벤트 단위 탐지 정확도를 별도로 평가함
  - 이벤트 단위 탐지 정확도 평가는 화재 이벤트 구간에서 경보가 한 번이라도 울리면 탐지 성공으로, 민감작동 구간에서 경보가 한 번도 울리지 않으면 정상 처리로 판단.
  - 피어슨 상관계수와 뎀프스터-셰이퍼 증거이론 결합을 함께 적용한 조합에서는 전체 4건의 화재를 모두 탐지하고 38건의 민감작동에서 오탐이 전혀 발생하지 않아, 42개 이벤트 전체에 대해 100% 정확도를 달성함.

〈표 5〉 민감작동 탐지 성능 결과

소프트센서 조합	화재탐지율	민감작동 처리율	이벤트 정확도
기본	4/4(100%)	37/38(97.4%)	41/42(97.6%)
피어슨상관관계	4/4(100%)	37/38(97.4%)	41/42(97.6%)
뎀프스터-셰이퍼 증거이론	4/4(100%)	36/38(94.7%)	40/42(95.2%)
피어슨상관관계 및 뎀프스터-셰이퍼 증거이론	4/4(100%)	38/38(100%)	42/42(100%)

- 응급안전안심서비스 게이트웨이와 같은 저사양 엣지 장비에서 실시간으로 동작 가능한지 확인하기 위해 추론 지연시간(Latency)과 CPU 사용시간을 측정함.
  - 추론 지연시간은 센서 데이터가 입력되고 나서 이상탐지 결과가 나오기까지 걸리는 시간을 의미하며, CPU 사용시간은 추론 과정에서 실제 프로세서가 연산에 소모한 시간으로, 장비 부하 정도를 나타냄.
  - 소프트 센서를 적용해도 추론 지연시간은 미사용 대비 큰 차이가 없으며 전체 조합에서 60ms 수준에 불과해 저사양 엣지 장비에서도 실시간 처리가 가능함을 시사함.

〈표 6〉 엣지 성능 결과

소프트센서 조합	지연시간(ms)	CPU 사용시간(ms)
기본	60.01 ± 7.72	50.78 ± 6.77
피어슨상관관계	54.38 ± 8.06	58.59 ± 12.96
뎀프스터-셰이퍼 증거이론	54.75 ± 8.11	50.78 ± 6.77
피어슨상관관계 및 뎀프스터-셰이퍼 증거이론	57.51 ± 9.34	58.59 ± 6.77

Ⅳ 시사점

- 본 연구에서 제안한 소프트 센서 기반 이상탐지 모델은 기존 댁내장비(화재감지기, 게이트웨이)를 그대로 활용하면서 민감작동과 실제 화재를 보다 정밀하게 구분할 수 있는 현실적인 개선 방안으로 평가됨.
  - 안방 온도·습도 변화량과 부엌 알람 지속시간을 결합한 소프트 센서와 경량 이상탐지 모델(LSTM + Isolation Forest)을 적용한 결과, 단일 센서 기반 임계값 방식 대비 민감작동 정상처리율과 실제 화재 탐지율이 동시에 향상됨을 확인함.
  - 신규 장비 도입 없이 기존 댁내장비 데이터만으로 구현 가능하여 비용 부담이 낮고, 엣지 환경에서 소프트 방식으로 운영 가능해 유지관리와 확장 측면에서도 현장 적용성이 높음.
- 본 방안이 실제 서비스에 적용될 경우 민감작동으로 인한 불필요한 경보 처리가 줄어들어, 응급관리요원이 실제 응급상황 대응과 대상자 안전확인에 집중할 수 있는 운영 환경이 조성될 것으로 기대됨.
  - 민감작동 저감을 통해 응급관리요원의 반복 출동 부담이 감소하고 한정된 자원으로 실질적인 돌봄 업무에 집중될 수 있어, 독거노인·장애인 대상자의 실제 위기 상황에서 보다 신속하고 정확한 대응이 가능해질 것으로 예상됨.
  - 실제 운영 장비에서 온·습도 측정값과 화재 알림 이력의 수집·분석 가능 여부를 확인하고, 확보된 데이터로 모델을 개선하여 서비스의 정확도와 신뢰도를 높이며, 향후 활동량 감지기 등 다른 댁내장비 데이터와 연계해 판단 체계를 고도화할 수 있음.
- 본 방안의 현장 적용을 위해서는 실증 기반 데이터 확보와 단계적 검증 체계 구축 등 사전 준비가 필요하며, 중장기적 관점에서의 시스템 설계가 요구됨.
  - 현장 시범 적용 과정에서 실제 화재·민감작동 상황과 관련된 신규 영향 변수를 지속적으로 발굴하고, 이를 소프트 센서 및 이상탐지 모델에 반영하여 단계적으로 고도화하는 후속 연구가 병행되어야 함.
  - 예를들어, 화재감지기 미 설치 공간에서 화재가 발생한 경우 탐지가 지연될 수 있어, 화재 발생 가능성이 높은 공간에 조기 탐지을 위한 추가적인 연구를 검토할 필요가 있음.
  - 응급안전안심서비스 차기 사업에서 실제 운영 장비의 데이터 수집·활용 가능성을 확인하고, 일부 가구에 시범 적용하여 민감작동 감소 효과와 실제 화재 탐지 성능을 검증한 후, 그 결과에 따라 적용 범위를 단계적으로 확대할 필요가 있음.
  - 엣지 서버 기반 실시간 분석 구조는 향후 응급안전안심서비스 운영 효율화의 핵심 인프라가 될 수 있으므로, 지역 단위 분산형 분석과 중앙 통합 관리 구조를 병행하고 대상자 수 증가와 장비 다양화에 대비한 확장 가능한 시스템 구조를 포함한 중장기 로드맵 수립이 필요함.

참고문헌

보건복지부, 2026. 3 12.. 2026 독거노인·장애인 응급안전안심서비스 사업안내.

토지주택연구원, 2024. 공동주택 비화재보 저감을 위한 아날로그 감지기의 실효성 제고 방안 연구.

문근철, 원정훈, 김봉준, "화재 시나리오에 따른 아파트 세대 구획 공간의 연기 확산 시간 분석," *위기관리이론과실천*, vol. 21, no. 10, pp. 65-78, 2025.

P. Vorwerk, J. Kelleter, S. Muller, U. Krause, "Distance-based analysis of early fire indicators on a new indoor laboratory dataset with distributed multi-sensor nodes," *Fire 2023*, vol. 6, no. 8, 2023. Aug.

D. Martin, N. Kuhl, G. Stazger, "Virtual Sensors," *Business & Information Systems Engineering*, vol. 63, no. 3, pp. 315-323, 2021. Mar.

D. Fahrmann, L. Martin, L. Sanchez, N. Damer, "Anomaly detection in smart environments: a comprehensive survey," *IEEE Access*, vol. 12, 2024. Apr.

M. Yu, H. Yuan, K Li, J. Wang, "Research on multi-detector real-time fire alarm technology based on signal similarity," *Fire Satety Journal*, 2022. Dec.

M. J. C. S. Reis, and C. Serodio, "Edge aI for real-time anomaly detection in smart homes," *Future Internet 2025*, vol. 17, no. 4, 2025. Apr.

Q. Ding, P. Zhenghong, T. Liu, Q. Tong, "Multi-sensor building fire alarm system with information fusion technology based on D-S evidence theory," *Algorithms*, vol. 7, no. 4. pp. 523-537, 2014. Oct.

L. Fei, J. Xia, Y. Feng, L. Liu, "A novel method to determine basic probability assignment in dempster-shafer theory and its application in multi-sensor information fusion," *International Journal of Disributed Sensor Networks*, vol. 15, no. 7, 2019. Jul.

A. Chatterjee, B. S. Ahmed, "IoT anomaly detection methods and applications: a survey," *Internet of Things*, vol. 19, 2022. Aug.

A. Ali, T. Montanaro, I. Sergi, S. Carrisi, D. Galli, C. Distante, L. Patrono, "An innovative IoT and edge intelligence framework for monitoring elderly people using anomaly detection on data from non-wearable sensors," *Sensors*, vol. 25, no. 6, 2025. Mar.

NIST, 2007. 1. Performance of home smoke alarms analysis of the response of several available technologies in residential fire settings.

NIST, 2013. 6. Smoke alarm performance in kitchen fires and nuisance alarm scenarios.

SIST, 2017. 2. SIST EN 54-5:2017 "Fire detection and fire alarm systems - Part 5: Heat detectors - Point heat detectors".

SIST, 2018. 8. SIST EN 54-7:2018 "Fire detection and fire alarm systems - Part 7: Smoke detectors - Point smoke detectors that operate using scattered light, transmitted light or ionization"

한국사회보장정보원 KOREA SOCIAL SECURITY INFORMATION SERVICE

04554 서울특별시 광진구 능동로 400 보건복지행정타운
대표전화 02-6360-6114 팩스 02-6360-6360 www.ssis.or.kr

집필자 김성진 연구원 한국사회보장정보원
문의 02-6360-4643

본 원고의 내용은 집필자의 개인적 의견으로서 한국사회보장정보원의 공식적 견해와는 다를 수 있습니다.