

mmWave 센서 기반 차량 내 어린이 고립사고 예방 시스템 제안

이애진*, 김준수*, 김미지*, 진주완*

*건양대학교 재난안전소방학과

e-mail : 23683020@konyang.ac.kr

Proposal of an mmWave Radar-Based System for Preventing Child Entrapment in Vehicles

Ae-Jin Lee*, Jun-Su Kim*, Mi-Ji Kim*, Juan Jin**

*Dept. of Disaster Safety & Fire Fighting, Konyang University

요약

본 논문에서는 차량 내 어린이 고립사고 예방을 위해 mmWave 센서를 활용한 통합형 실시간 감지 시스템을 제안한다. 기존 하차확인장치 및 ROA 시스템은 운전자의 확인에 의존하거나 정적 상태의 아동 감지에 구조적 한계가 존재하여, 이를 보완하고자 차량 정차 시 자동으로 활성화되는 mmWave 센서 기반 알고리즘을 설계하였다. 본 시스템은 차량 내 탑승자의 미세 움직임까지 감지하여 소유주에게 즉시 경고 알람을 전송하며, 외부 디스플레이 및 적색 LED 점멸을 통해 주변인의 신속한 구조 참여를 유도한다. 실험을 통해 시스템의 기본 동작 성능을 검증하였으며, 기존 시스템 대비 정확도와 직관적인 대응 체계를 개선하여 고립사고 예방의 기술적 타당성을 확인하였다. 다만, 다양한 실제 차량 운용 환경에서의 장기적 실증 실험이 충분하지 않아 센서 사각지대 및 환경 간섭에 대한 정량적 검증이 추가로 요구된다. 향후 연구에서는 실제 통학버스 환경을 대상으로 알고리즘을 고도화하여 시스템 안정성을 강화하고, 인명 피해 최소화를 위한 실용적 안전 대응 모델로서 발전시켜 나갈 전망이다.

1. 서론

산업 발달과 도시화에 따라 자동차 이용률은 지속적으로 증가하고 있으며, 맞벌이 가정의 확대와 더불어 어린이집 통학버스, 학원 차량, 보호자 개인 차량 등 이동의 차량 이동 빈도 또한 꾸준히 증가하고 있다. 이에 따라 차량은 단순한 이동 수단을 넘어 보육과 일상생활을 위한 필수적인 수단으로 자리 잡고 있으며, 동시에 어린이의 차량 내부 고립사고 위험성 또한 증가하고 있다.

이는 국내에만 국한된 문제가 아니라 해외에서도 반복적으로 발생하는 사회적 안전 문제이다. 미국의 PVHD 통계에 따르면, 어린이 차량 내 열사병 사망 사고는 매년 20~50명 수준으로 지속되고 있으며, 2018년과 2019년에는 각각 53명으로 가장 높은 수치를 기록하였다. 이는 차량 내부 고립사고가 일시적인 현상이 아닌 반복적으로 발생하는 구조적 안전 문제임을 보여준다[1,2].

차량 내부는 밀폐된 공간 특성으로 인해 외부 기온이 높지 않더라도 짧은 시간 내 급격한 온도 상승이 발생할 수 있는 환경이다. 특히 체온 조절 능력이 미숙한 어린이는 성인보다 열사병, 탈수, 질식 등 치명적인 위험에 더욱 취약하다[2].

이와 같은 사고는 단순히 보호자의 부주의뿐 아니라 기존 하차확인장치와 차량 내 감지 시스템의 구조적 한계에서도 발생한다. 현재 대부분의 하차확인장치는 차량 내부 후방 버튼을 누르는 방

식으로 작동하여 실제 차량 내부 탑승자를 직접 감지하지 못하며, 일부 ROA 시스템 역시 문 개폐 이력이나 초음파 센서 기반으로 작동하여 정적인 상태의 어린이나 미세한 움직임을 정확히 감지하는 데 한계가 있다.

이에 본 논문에서는 어린이의 차량 내부 고립사고를 예방하기 위해 mmWave 센서를 기반으로 차량 내부 알람에만 의존하던 기존 시스템의 한계를 보완하고, 주변인의 신속한 구조 참여를 유도하는 통합형 안전 시스템과 알고리즘을 제안한다.

2. 어린이의 차량 내부 고립사고 사례 및 현황 분석

2.1 사고 사례분석

어린이 차량 내부 고립사고는 단순한 사망 사고에 그치지 않고, 장시간 방치로 인한 신체적 손상과 심리적 후유증을 초래하는 중대한 사회적 문제이다. 최근에도 어린이집, 학원, 체육시설 통학 차량 등 다양한 환경에서 유사 사고가 반복적으로 발생하고 있으며, 이는 기존 안전관리 체계에 대한 문제를 제기한다.

아래 표 1은 최근 발생한 어린이의 차량 내부 고립사고 사례를 정리한 것이다.

[표 1] 어린이의 차량 내부 고립사고 사례

일자	사고 사례
2024.12 [4]	대전 태권도 학원 통학 차량에서 5세 여아가 영하에 가까운 날씨 가운데 약 1시간 동안 고립되었으며, 이후 심리적 트라우마를 겪음.
2025.03 [5]	파주 영어학원 통학 차량에서 3세 아동이 약 2시간 동안 고립되어 구조 후 심리 치료를 받음
2025.11 [6]	수영학원 통학 차량에서 6세 아동이 홀로 고립되었으며, 탈출을 위해 비상망치로 창문을 깨는 과정에서 부상을 입고 심리적 트라우마를 겪음

표 1의 사례는 모두 하차확인장치가 설치된 차량에서 발생했다는 공통점을 가진다. 이는 현재의 하차확인장치가 차량 내부의 어린이를 직접 감지하지 않고, 운전자의 확인 행동에 의존하는 수동형 시스템이기 때문이다.

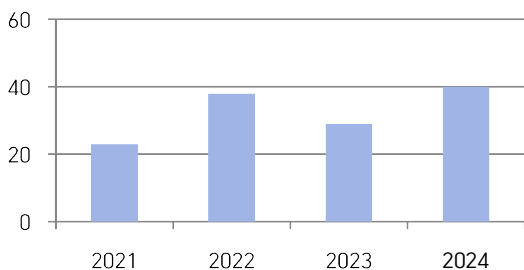
파주 영어학원은 시동을 끄지 않아 장치가 작동하지 않았고, 수영학원은 아동이 남아 있었음에도 알람이 울리지 않았다. 대전 태권도 학원은 원생들이 하차 확인 버튼을 대신 눌러 형식적으로 운영되었다[4-6]. 즉, 기존 시스템은 사람의 실수나 장치 오작동으로 인해 실제 잔류 아동을 확인하지 못하는 한계가 존재한다.

상기 사례와 같은 사고는 계절과 관계없이 발생하며, 특히 여름철에는 더욱 주의가 필요하다. 아래 표 2의 한국교통안전공단 실험에 따르면, 실외 온도 35°C에서 주차된 차량 내부 온도는 70°C 이상까지 상승해 심각한 인명 피해로 이어질 수 있다[7].

[표 2] 실외 온도 35도일 때 차량 내 위치별 최대 온도
(단위 : 섭씨)

상황 위치	주차된 차량의 위치별 최대 온도 (4시간 경과)
대시보드(중앙)	92°C
조수석 및 뒷좌석	62°C
뒷유리 부근	78°C
차량 내 평균온도	70°C 이상

위와 같은 어린이의 차량 내부 고립사고는 국내뿐만 아니라 해외에서도 지속적으로 발생하고 있는 안전사고이다.



[그림 1] 뜨거운 차량 내부 어린이 사망 사고 건수

그림 1은 미 국가안전위원회(NSC)에서 보고한 통계자료이다. 이에 따르면, 평균적으로 매년 15세 미만 어린이가 약 31명이 차량 내부에 방치되어 열사병으로 사망하고 있음을 알 수 있다. 이는 차량 내부 고립사고가 일시적인 현상이 아닌 반복적으로 발생하는 구조적 안전 문제임을 보여준다[8].

2.2 기존 시스템 현황 분석

일부 국산 차량에는 ROA(Rear Occupant Alert) 시스템이 적용되어 문 개폐 이력 또는 초음파 센서를 기반으로 탑승 여부를 판단하고 있다. 초기 ROA 시스템은 뒷문 개폐 여부를 기록한 뒤 운전자에게 알람을 제공하는 방식으로 작동하였으나, 실제 차량 내부 탑승자를 직접 감지하지 못하고 단순히 문 사용 여부만으로 판단하기 때문에 정확도가 낮다는 한계가 있다[9].

이후 초음파 기반 감지 방식이 적용되었으나, 초음파 센서는 움직임이 거의 없는 어린이나 미세한 호흡 움직임까지 정확하게 감지하는 데 한계가 있다. 또한 어린이 통학버스와 같은 대형 차량에서는 감지 정확도가 저하될 수 있으며, 센서 사각지대가 발생할 가능성도 존재한다. 또한 이러한 시스템은 주로 승용차 중심으로 적용되어 실제 어린이 통학버스와 같은 취약 차량에는 적용이 미흡한 실정이다[10].

따라서 인간의 실수뿐만 아니라 기존 감지 시스템이 갖는 구조적 한계로 인해 발생하는 시스템 오류를 동시에 보완할 수 있는 mmWave 기반 실시간 감지 시스템의 도입이 요구된다.

[표 3] 기존 시스템과 제안 시스템 비교

구분	하차확인장치 [3]	자동차 제조사 ROA 시스템 [9,10]	mmWave 기반 시스템
감지방식	운전자가 직접 확인	문 개폐 이력 + 초음파/레이더 감지	mmWave 센서 기반 실시간 감지
정적 탑승자 감지	기능 없음	일부 가능	가능
보호자 알람	없음	일부 차량만 가능	휴대전화 알람
외부 구조 유도	없음	없음	디스플레이 SOS 표시 + 적색 LED 점멸

위 표 3과 같이 본 논문에서 제안하는 시스템은 mmWave 센서를 활용하여 차량 내부 탑승자의 미세한 움직임까지 실시간으로 감지할 수 있다. 또한, 보호자 알람과 외부 디스플레이를 통한 SOS 신호를 동시에 제공함으로써 기존 시스템이 차량 내부 알람에만 의존하던 한계를 보완한다. 이를 통해 주변인의 신속한 구조 참여를 유도하고, 효과적인 사고 예방이 가능하도록 설계하였

다.

mmWave(mmWave Radar) 센서는 30~300 GHz 대역의 고주파 전자기파를 활용하여 대상의 존재 및 움직임을 감지하는 기술로, 기존 초음파 센서와 달리 호흡이나 심박에 따른 흉부의 미세한 움직임과 같은 생체 신호까지 정밀하게 탐지할 수 있다. 또한 조도 변화, 온도, 먼지 등 외부 환경 요인의 영향을 상대적으로 적게 받아 차량 내부와 같은 밀폐된 공간에서도 높은 신뢰성과 안정성을 유지한다. 비접촉 방식으로 작동함에 따라 별도의 착용 장치 없이 실시간 모니터링이 가능하며, 어린이 통학버스와 같은 비교적 넓은 공간에서도 효과적인 탐지가 이루어진다.

이러한 특성으로 인해 정적인 상태나 수면 중인 탑승자까지 감지할 수 있어, 차량 내부 고립사고 예방을 위한 센서 기술로서 높은 적용 가능성을 가진다[10,11].

3. 어린이의 차량 내부 고립사고 방지 방안 및 알고리즘

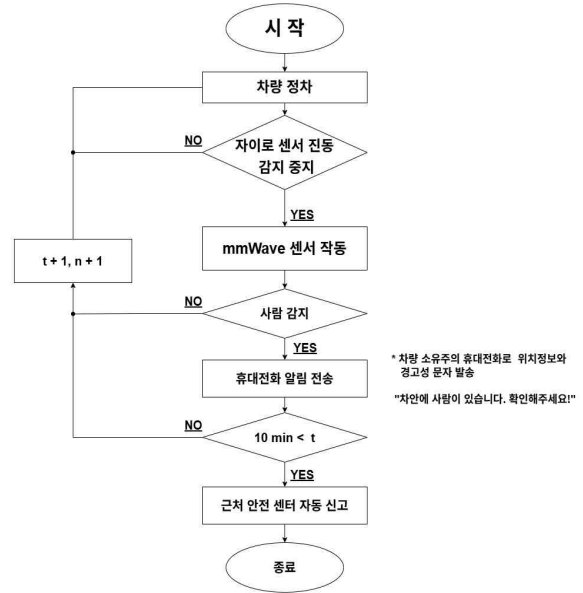
본 논문에서 제안하는 어린이 차량 내부 고립사고 방지 시스템은 mmWave 센서를 기반으로 차량 내부에 잔류한 어린이를 실시간으로 감지하고, 보호자와 주변인이 즉시 위험 상황을 인지할 수 있도록 하는 통합형 안전 시스템이다. 또한, 차량 내부 알람에 그치지 않고 디스플레이 SOS 표시와 경고 LED를 통해 주변인이 위험 상황을 직관적으로 인지할 수 있도록 설계하였다.



[그림 2] 시스템 개념도

시스템은 그림 2와 같이 차량 정차 후 자이로 센서를 통해 정차 상태를 감지한 뒤 10분 경과 시 자동으로 활성화된다. 활성화 후 mmWave 센서가 차량 내부의 움직임과 탑승자 존재를 감지하며, 탑승자가 확인될 경우, 차량 소유주의 휴대전화로 즉시 경고 알람이 전송된다. 동시에 디스플레이에는 내부 온도와 함께 SOS 경고 문구가 표시되고 적색 LED가 점멸하여 주변에서도 즉시 도움을 줄 수 있도록 설계하였다. 이후에도 구조 조치가 이루어지지 않을 경우, 차량 위치 정보가 자동으로 인근 안전센터에 전달되어 신속한 대응이 가능하도록 구성하였다.

본 논문에서 제안하는 알고리즘의 흐름은 그림 3과 같다.



[그림 3] 시스템 알고리즘 순서도

제시한 어린이의 차량 내부 고립사고 방지 시스템의 알고리즘을 구체적으로 설명하면,

[step 1] 차량이 정차하면 자이로 센서가 이를 감지하고 정차 상태를 10분 이상 유지하면 시스템이 활성화된다.

[step 2] 시스템이 작동하면 mmWave 센서가 작동을 시작한다.

[step 3] mmWave 센서가 차량 내 사람을 감지하면 차량 소유주의 휴대전화로 알람을 전송하고(경고! 차 안에 사람이 있습니다. 확인해 주세요!), 동시에 디스플레이에는 차량의 내부 온도와 함께 SOS 경고 문구가 표시되며 적색 LED가 점멸한다.

[step 4] 알람이 전송된 후 10분 이내에 구조 조치 없을 시 차량 근처의 안전센터에 위치 정보가 자동 신고 접수된다.

본 논문에서 제시한 시스템은 아래 그림 4와 같이 구성된다.



[그림 4] 시스템 구성도

상기와 같이 본 연구를 통해 제시한 어린이의 차량 내부 고립사고 방지 방안과 알고리즘을 차량에 적용한다면 고립사고에 따른 인명 사고 예방에 유용할 것으로 기대한다.

4. 결론

본 논문에서는 어린이의 차량 내부 고립사고를 예방하기 위한 mmWave 기반 감지 시스템과 알고리즘을 제안하였다. 기존의 하차확인장치는 운전자의 수동 확인에 의존하여 차량 내부에 잔류한 어린이를 직접적으로 감지하지 못하는 한계가 있으며, 일부 ROA 시스템 또한 문 개폐 이력이나 초음파 센서를 기반으로 작동함에 따라 정적인 상태의 어린이나 미세 움직임을 정밀하게 인식하는 데 제약이 있다.

이에 본 연구에서는 차량 정차 후 일정 시간이 경과되면 시스템이 자동으로 활성화되며, mmWave 센서를 활용하여 차량 내부 탑승자의 존재를 실시간으로 감지할 수 있도록 설계하였다. 또한, 탑승자가 감지될 경우, 차량 소유주에게 즉시 알림을 전송하고, 외부 디스플레이를 통해 SOS 경고 메시지 및 차량 내부 온도를 표출하며 적색 LED 점멸을 통해 외부에서도 위험 상황을 직관적으로 인지할 수 있도록 하였다. 더 나아가 일정 시간 내 구조 조치가 이루어지지 않을 경우, 차량 위치 정보를 인근 안전센터로 자동 전송함으로써, 기존의 차량 내부 알림 중심 시스템의 한계를 보완하고 주변인의 신속한 구조 참여를 유도하는 통합형 안전 대응 체계를 구현하고자 하였다.

본 연구에서는 시제품 제작 및 기본 동작 검증을 수행하였으나, 다양한 실제 차량 환경에서의 장기적 실증 실험은 충분히 이루어지지 못하였다. 따라서 향후 연구에서는 어린이 통학버스를 포함한 실제 운용 환경을 대상으로 센서의 감지 정확도 및 범위를 정량적으로 검증하고, 오탐지 감소 및 시스템 안정성 향상을 위한 추가적인 연구가 필요하다.

제안된 차량 내부 고립사고 방지 시스템과 알고리즘이 실제 차량에 적용될 경우, 어린이의 차량 내부 고립사고를 효과적으로 예방하고 인명 피해를 최소화하는 데 기여할 것으로 기대된다.

참고문헌

- [1] Jan Null, "Pediatric Vehicular Heatstroke Deaths of Children in Vehicles," NoHeatStroke, 2026.
- [2] National Highway Traffic Safety Administration, "You Can Help Prevent Hot Car Deaths," NHTSA
- [3] 교육부, 「유치원 어린이통학버스 운영 매뉴얼」, 유아교육 정책과, 2020
- [4] 윤소영, "혹한에 학원차에 갇힌 5살 아이..." 이야기 안 할 거야"/투데이, 대전MBC, 2024.12
- [5] 오윤상, "파주서 영어학원 등원 첫날 3살 아이 통학버스 방치...경찰 수사", 인천일보, 2025.03
- [6] SBS 디지털뉴스편집부, "학원차에 갇힌 6살...창문 깨고 구조 요청", SBS NEWS, 2025.11

- [7] 한국교통안전공단, "뜨거운 여름, 차 안에서는 어떤 위험이?", 2020.09
- [8] 미 국가안전위원회(National Safety Council)-No Heat Stroke, "A deep dive into circumstances and statistics behind hot car child deaths p.4, 2025.03
- [9] Kia Owner's Manual, "Rear Occupant Alert (ROA) System," Accessed 28 Apr. 2026.
- [10] Hyundai Mobis, "The New Radar-based Occupant Alert System To Keep Your Children Safe," 2020, Accessed 28 Apr. 2026.
- [11] Texas Instruments, "Introduction to mmWave Sensing: FMCW Radars," Technical White Paper, 2020.