

차량 침수 인명사고 예방을 위한 자동 창문 개방 시스템에 관한 연구

김인화*, 이규환*, 박소현*, 김대욱*, 손재원*, 최승규*
*건양대학교 재난안전소방학과
e-mail : skchoi@konyang.ac.kr

A Study on an Automatic Window Opening System to Prevent Casualties in Flooded Vehicles

In-Hwa Kim*, Gyu-Hwan Lee*, So-Hyeon Park*, Dae-Wook kim*,
Jae-Won Son* Seung-Kyou Choi*
*Department of Disaster Safety & Fire, Konyang University

요약

최근 기후변화로 인한 집중호우와 극한 강수 현상으로 차량 침수 사고의 발생 위험이 증가하고 있으며, 짧은 시간 내 수위가 급격히 상승하여 인명 피해로 이어지는 사례가 발생하고 있다. 특히 차량 침수 시 전기 계통 마비와 외부 수압 증가로 인해 탑승자의 탈출이 어려워져 피해가 확대되고 있다. 이에 본 논문에서는 차량의 침수 상태를 실시간으로 감지하고, 다중 센서 데이터를 기반으로 침수 여부를 판단하여 일정 조건을 만족할 경우, 창문을 자동으로 개방하는 시스템의 운용 방안과 알고리즘을 제안한다. 제안한 시스템은 수위, 수압, 차량 기울기, 속도 등을 종합적으로 고려하여 침수 상황을 판단하고, 창문을 자동으로 개방할 수 있도록 하였다. 제안한 시스템은 차량 침수 상황에서 탑승자의 신속한 탈출을 가능하게 하여 인명 피해를 저감하는 데 유용할 것이다. 향후 다양한 환경에서의 실험 및 검증을 통해 시스템의 신뢰성을 확보하고, 실제 차량 적용을 통해 침수 사고 대응에 효과적으로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

1. 서론

우리나라는 최근 몇 년간 일정 지역에서 여름철 장마 및 폭우 발생 빈도가 계속해서 증가하고 있다.

도로교통공단 교통분석시스템(TAAS) Traffic Accident Analysis System에 따르면 지난 5년간(2019년~2023년) 침수 교통사고는 총 124건이며, 부상자는 182명으로 집계됐다.

또한 도심 지역에서는 짧은 시간 동안 많은 비가 집중적으로 내리면서 하수구 배관이 막혀 배수 능력을 제대로 하지 못해 지하차도 및 주차장 등에서 2차 침수 사고가 빈번하게 발생하고 있으며, 차량 침수 사고는 단순한 차량 손상을 넘어 인명 피해와 재산 피해까지 이어지는 사례가 증가하고 있다. 차량이 침수될 경우 외부 수압과 전기 차단으로 인해 차량 대부분의 기능이 정상적으로 작동하지 않아 탑승자의 탈출이 매우 어려워진다.

따라서 이러한 문제를 해결하기 위해서 차량의 침수 상황을 자동으로 인지하고 대응할 수 있는 안전 시스템이 필요하다.

이에 본 논문에서는 차량의 침수 상태를 감지하고, 차량 정보를 기반으로 침수 여부를 판단하여, 일정 침수량이 일정 수준을 넘어갈 경우 창문을 자동으로 개방하는 ‘침수 차량 자동 창문 개방 시스템’을 제안한다.

2. 침수 차량 사고사례 및 분석

최근 기후변화로 인한 강수 패턴의 변동성이 증가하는 가운데, 기상청 기상자료개방포털 자료 표1에 따르면, 계절별 강수량은 여름철에 집중되는 경향이 뚜렷하게 나타난다.

특히 2023년에는 여름철 강수량이 1000mm를 초과하는 등 극한 강수 현상이 관측되었으며, 이는 단기간에 강한 비가 집중되는 최근 기후변화의 특징을 보여준다.

또한 가을철 강수량 역시 증가하는 추세를 보여 계절 간 강수 패턴의 변화가 확인된다.

[표 1] 계절 연도별 강수량 현황

계절/년도	2022년	2023년	2024년
봄	230mm	284.1mm	266.7mm
여름	700mm	1018.5mm	604.3mm
가을	200~300mm	307.2mm	415.7mm

연도별 주요 침수 사고 사례를 종합적으로 살펴보면, 지하차도 및 저지대 도심 지역에서 발생하는 침수 사고는 인명 피해로 직결되는 경향이 나타나며, 이러한 경향은 중앙재난안전대책본부의 통계 자료 표2에서도 확인된다.

특히 2023년 오송 지하차도 참사는 폐쇄된 공간 내 급격한

수위 상승으로 다수의 사망자가 발생한 대표적 사례로, 침수 환경에서의 대피 한계와 위험성을 단적으로 보여준다.

또한 2022년 강남 침수와 2020년 부산 초량 지하차도 사고에서도 사망 및 부상자가 발생하여 유사한 유형의 사고가 반복되고 있음을 확인할 수 있다.

반면, 2021년 전라남도 7월 집중호우의 경우 사망자는 발생하지 않았으나 다수의 부상자가 보고되어, 침수 상황에서의 초기 대응 지연 및 탈출 여건 부족이 인명 피해로 이어질 가능성을 시사한다.

[표 2] 원인별 침수 발생현황

연도	사건	사망	부상
2023	오송 지하차도 참사	14명	9명
2022	강남 침수	3명	20명
2021	전라남도 7월 집중 호우	0명	36명
2020	부산 초량 지하차도 사고	3명	4명

최근 침수 피해의 연도별 발생 현황을 살펴보면, 손해보험협회 자료에 표3 따르면 피해 건수와 재산 피해 규모는 특정 연도에 급격히 증가하는 등 높은 변동성을 보이는 것으로 나타난다.

특히 2023년에는 피해 건수가 2만 건 이상으로 크게 증가하였으며, 이에 따른 재산 피해액 또한 높은 수준을 기록하였다.

반면 일부 연도에서는 피해 규모가 상대적으로 감소하는 양상을 보이거나, 전반적으로 침수 피해는 지속적으로 발생하는 추세를 보인다.

[표 3] 연도별 피해건수 및 손해액 발생현황

연도	피해건수	추정 손해액(재산 피해)
2023	21,173	1,549억 원
2022	2,273	2,52억 원
2021	21,732	2,147억 원
2020	2,395	2,39억 원

최근 차량 침수 및 침수도로 교통사고 발생 현황을 종합적으로 살펴보면, 보험개발원과 도로교통공단의 통계 자료에 표4 따르면 침수로 인한 직접적인 피해뿐만 아니라 2차 사고 위험 또한 지속적으로 존재하는 것으로 나타난다.

차량 침수 건수는 연도별로 큰 변동을 보이며, 특정 연도에는 수만 건에 달하는 피해가 발생하는 등 집중호우 시 도로 환경이 급격히 악화되는 상황이 빈번하게 발생함을 시사한다.

또한 침수 도로에서의 교통사고와 부상자 수 역시 지속적으

로 발생하고 있어, 단순한 차량 침수 피해를 넘어 인명사고로 이어질 가능성이 높은 것으로 분석된다.

특히 운전자가 침수 상황을 인지하지 못하거나 대응이 지연될 경우 사고 위험은 더욱 증가하는 경향을 보인다.

[표 4] 연도별 침수건 및 침수도로 교통사고 발생현황

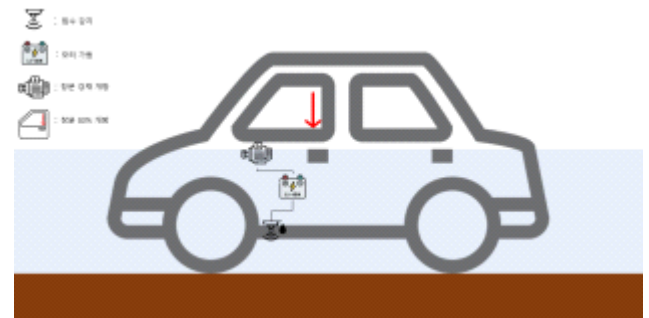
연도	차량 침수건수	침수도로 교통사고	부상
2023	5,000건	22대	28명
2022	18,266건	30대	51명
2021	3,251건	16대	25명

3. 차량 침수 인명사고 예방을 위한 자동 창문 개방 장치 및 알고리즘

본 논문에서는 차량 침수 상황에서 탑승자의 신속한 탈출을 지원하기 위해, 침수 여부를 실시간으로 판단하고 자동으로 창문을 개방하는 알고리즘을 그림1과 같이 제안한다.

제안된 알고리즘은 다중 센서 데이터를 기반으로 침수 상태를 감지하고, 차량 상태 및 안전 조건을 종합적으로 고려하여 창문 개방 여부를 결정한다.

이를 통해 오작동을 최소화하면서 긴급 상황에서 대응이 가능하도록 설계되었다.

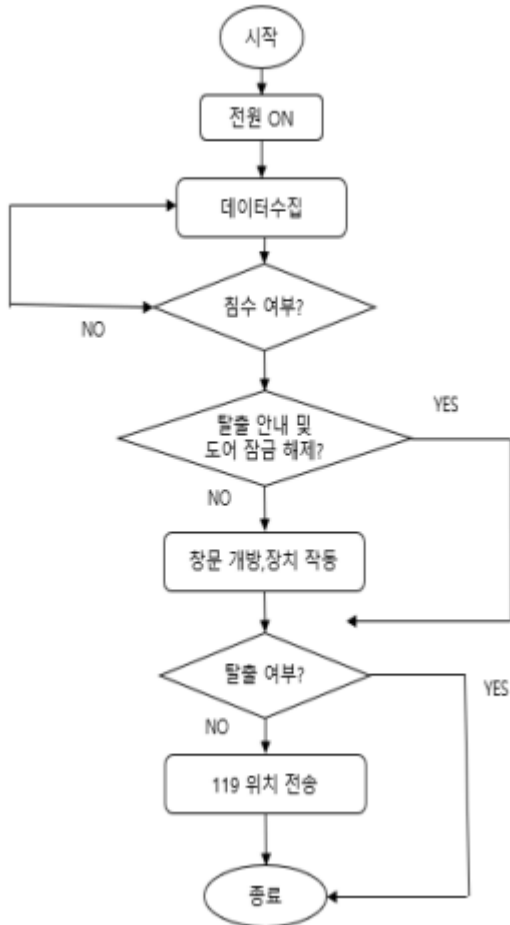


[그림1] 차량 침수 인명사고 예방을 위한 자동 창문 개방 장치

차량 침수 상황에서 인명사고를 예방하기 위한 침수 감지 기반 자동 창문 개방 장치 작동 방식을 제시하면 그림 4와 같다.



[그림4] 차량 침수 인명사고 예방을 위한 자동 창문 개방 장치 작동 방식



[그림5] 차량 침수 인명사고 예방을 위한 자동 창문 개방 장치 알고리즘

제시한 침수 인지 기반 자동 창문 개방 알고리즘 구체적으로 설명하면,

[Step 1] 시스템 시작

센서(수위, 수압, 기울기, 속도) 및 임계값을 설정하고 알고리즘 시작한다.

[Step 2] 전원 On

장치에 전원을 실행한다.

[Step 3] 센서 데이터 수집

차량 외부 수위, 수압, 차량 기울기 및 속도 데이터를 실시간으로 수집한다.

[Step 4] 침수 여부 판단

수위, 수압, 기울기 값이 설정된 임계값을 초과하는지 확인하고, 일정 시간 이상 지속될 경우, 침수 상태로 판단한다.

→ (No: Step 3로 진행 / Yes: Step 4로 진행)

(임계값?) 물이 차 바퀴 절반 이상 잠김(약 50cm)

차가 기울어짐(눈에 보일 정도로 기울어짐)

차가 멈춰 있음(움직이지 못함)

물이 계속 차오름 (10초 이상 지속)

[Step 5] 탈출 안내 및 도어 잠금 해제

참수 상태로 판단 됐을 경우 탈출 안내 및 도어 잠금 해제

→(Yes:Step 7로 진행/No Step 6로 진행

[Step 6] 창문 개방 장치 작동

압력으로 인해 창문이 열리지 않을 경우, 창문 개방 장치 작동을 한다.

[Step 7] 탈출여부?

탑승자의 탈출 여부를 확인한다.

탈출할 경우, 경고음 유지 또는 종료 선택

추가 구조 요청 없이 상황 종료 또는 상태 기록 탈출 불가능할 경우 119 자동 신고 (위치 정보 전송)

경고음 음성 안내 반복

(No: Step 8로 진행 / Yes: Step 9로 진행)

[Step 8] 119 위치 전송

경고음 및 음성 안내 출력 창문 개방 시, 구조 효율성 향상을 위해 119에 차량 위치 정보 자동 전송

[Step 9] 종료

탑승자의 탈출이 센서를 통해 확인되거나, 구조 요청 이후 일정 조건에서 구조 완료로 판단될 경우 시스템은 종료된다.

시스템은 탑승자의 안전 확보를 최우선으로 하며, 탈출 또는 구조 완료가 확인되면 모든 기능을 종료하고 해당 상황 데이터를 기록·저장한 뒤 대기 상태로 전환된다.

4. 결 론

최근 기후변화로 인해 집중되는 강우가 증가하면서 차량 침수 사고와 그로 인한 인명 피해 위험이 높아지고 있다.

특히 차량이 침수될 경우, 전기 계통 마비와 외부 수압 증가로 인해 차량의 주요 기능이 작동하지 않게 되며, 탑승자의 탈출이 어려워지는 문제가 발생한다.

본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 차량의 침수 상태를 실시간으로 감지하고, 다중 센서 데이터를 기반으로 침수 여부를 판단한 뒤, 일정 조건을 만족할 경우 창문을 자동으로 개방하는 시스템을 제안하였다.

제안된 알고리즘은 수위, 수압, 차량 기울기 및 속도 등의 정보를 종합적으로 고려하여 침수 상황을 판단하고, 차량 상태 및 내·외부 압력 차를 반영하여 안전하게 창문을 개방하도록 설계되었다.

또한 경고 및 안내 과정을 포함하여 탑승자가 상황을 인지하고 대응할 수 있도록 하였다.

이를 통해 침수 상황에서 탑승자의 탈출 가능성을 효과적으로 높이고, 인명 피해를 줄이는 데 기여할 수 있을 것이다.

향후에는 다양한 침수 환경에서의 실험과 검증을 통해 시스템의 신뢰성과 안정성을 확보하고, 실제 차량에 적용하기 위한 추가적인 연구가 필요하다.

감사의 글

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

참고문헌

- [1] 도로교통공단, 「교통사고분석시스템(TAAS)」, <https://taas.koroad.or.kr>, 2024.
- [2] 기상청, 「기상자료개방포털」, <https://data.kma.go.kr>, 2024.
- [3] 중앙재난안전대책본부, 「재난연감 및 침수 피해 통계 자료」, 행정안전부, 2023.
- [4] 손해보험협회, 「자연재해 보험금 지급 및 피해 현황 자료」, 2024.
- [5] 보험개발원, 「자동차보험 통계 및 차량 침수 피해 분석 보고서」, 2023.
- [6] 행정안전부, 「풍수해 대응 매뉴얼 및 재난 대응 지침」, 2022.
- [7] 국토교통부, 「도로 침수 및 지하차도 안전관리 대책 보고서」, 2023.
- [8] 소방청, 「119 구조 활동 통계연보」, 2023.