

# 전기차 화재 대응을 위한 메카넘 휠 기반 전방향 이동 제어 알고리즘 설계에 관한 연구

송제호\*, 두길수\*\*, 박의준\*\*\*

\*전북대학교 융합기술공학부(IT응용시스템공학)

\*\* (주)휴버스

\*\*\*전북대학교 IT응용시스템공학과

e-mail:songjh@jbnu.ac.kr

## A Study on the Design of an Omnidirectional Motion Control Algorithm based on Mecanum Wheels for Electric Vehicle Fire Response

Je-Ho Song\*, Du-Gil Su\*\*, Eui-Jun Park\*\*\*

\*Dept. of Convergence Technology Engineering(IT Applied System Engineering), Jeonbuk National University

\*\*Hubus Inc.

\*\*\*Dept. of IT Applied System Engineering, Jeonbuk National University

### 요약

최근 전기차 보급 증가에 따라 지하 주차장에서 발생하는 전기차 화재에 대한 신속하고 안전한 대응 기술의 필요성이 증가하고 있다. 지하 주차장은 공간이 협소하고 장애물이 많아 기존 차량 방식으로는 화재 발생 지점까지의 접근이 제한되는 문제가 있으며, 이에 따라 다양한 방향으로 이동이 가능한 고기동성 이동 시스템이 요구된다. 본 연구에서는 지하 주차장 전기차 화재 대응을 위한 메카넘 휠 기반 소방차의 전방향 이동 성능을 향상시키기 위하여 전방향 이동 제어 알고리즘을 설계하고 이를 실제 소방차 플랫폼에 적용하였다. 제안된 제어 알고리즘은 전진, 후진, 좌우 이동, 대각선 이동 및 제자리 회전과 같은 다양한 이동 동작을 안정적으로 수행할 수 있도록 구성되었으며, 협소한 공간에서도 차량의 위치를 신속하고 정확하게 제어할 수 있도록 설계하였다. 이를 통해 화재 발생 차량 주변으로의 접근성을 향상시키고 초기 대응 시간을 단축할 수 있는 기반을 마련하였다. 본 논문에서 제안한 전방향 이동 제어 기술은 지하 주차장과 같이 공간 제약이 큰 환경에서 화재 대응 장비의 기동성과 운용 효율을 향상시키는 데 효과적으로 적용될 수 있을 것으로 기대된다.

### 1. 서론

최근 전기 자동차(Electric Vehicle)의 보급이 증가함에 따라 전기차 화재에 대한 안전 문제가 중요한 사회적 이슈로 대두되고 있다. 전기차에 사용되는 리튬이온 배터리는 열폭주(thermal runaway) 특성으로 인해 화재 발생 시 장시간 고온 상태가 지속되고 재발화 가능성이 높아 기존 소화 방식만으로는 효과적인 진압이 어려운 특성을 가진다.[1,2] 특히 이러한 화재가 밀폐된 구조의 지하 주차장에서 발생할 경우, 연기와 유독가스의 확산 및 소방 장비 접근성 제한으로 인해 피해가 더욱 확대될 수 있다.

지하 주차장은 공간이 협소하고 차량이 밀집되어 있으며 장애물이 많은 환경적 특성을 가지므로, 화재 발생 위치까지 신속하게 접근하고 정확하게 위치를 제어할 수 있는 고기동성 이동 시스템이 요구된다. 이러한 환경에서는 전·후·좌·우뿐만 아니라 대각선 이동과 제자리 회전이 가능한 전방향 이동 기능이 효과적인 대응 수단이 될 수 있으며, 이를 구현하기 위한 구동 방식으로 메카넘 휠(Mecanum Wheel)이 적용될 수 있다. 메카넘 휠 기반

전방향 이동 시스템은 좁은 공간에서도 회전 반경의 제약 없이 다양한 방향으로 이동할 수 있어 지하 주차장과 같은 제한된 환경에서의 기동성 향상에 유리하다.

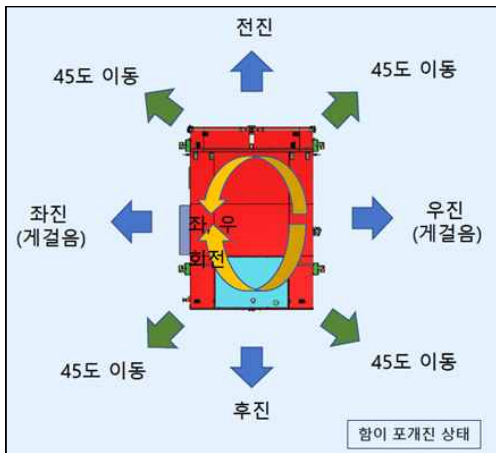
그러나 메카넘 휠 기반 이동 시스템은 각 바퀴의 속도와 방향을 정밀하게 제어해야 하므로, 이동 방향과 속도 명령에 따라 구동 모터의 회전 속도를 적절히 분배하는 전방향 이동 제어 알고리즘의 설계가 중요하다. 따라서, 본 논문에서는 지하 주차장 전기차 화재 대응을 위한 메카넘 휠 기반 소방차의 전방향 이동 성능 향상을 목적으로, 협소한 공간에서의 다양한 이동 방향을 구현할 수 있는 전방향 이동 제어 알고리즘을 설계하고 그 적용 가능성을 검증하고자 한다.

### 2. 본론

본 연구에서는 지하 주차장과 같이 협소하고 장애물이 많은 환경에서 전기차 화재 발생 지점까지 신속하게 접근할 수 있도록 메카넘 휠 기반 전방향 이동 시스템을 적용한 소방차 플랫폼을

설계하고, 이를 효과적으로 운용하기 위한 전방향 이동 제어 알고리즘을 구현하였다. 지하 주차장은 차량이 밀집되어 있고 기둥과 벽체, 경사로 등 다양한 구조물이 존재하여 일반적인 차량 방식으로는 충분한 회전 반경을 확보하기 어려운 환경적 특성을 가진다. 특히 화재가 발생한 차량 주변에는 다른 차량이 밀집되어 있는 경우가 많아 기존 차량의 단순 전진 또는 후진 방식으로는 접근이 제한될 수 있으며, 이로 인해 화재 대응 시간이 지연될 가능성이 존재한다. 따라서 이러한 환경에서는 차량의 방향 전환 없이도 다양한 방향으로 이동할 수 있는 고기동성 이동 시스템이 필수적으로 요구된다.[3,4]

이러한 요구를 충족하기 위하여 본 연구에서는 차량의 방향 전환 없이 전·후·좌·우 이동뿐만 아니라 대각선 이동과 제자리 회전을 수행할 수 있는 메카넘 휠 구동 방식을 적용하였다. 그림 1은 이러한 전방향 이동 특성을 나타낸 것이다.



[그림 1] 메카넘 휠을 적용한 전방향 이동 특성

메카넘 휠은 바퀴 외주에 일정 각도로 배열된 롤러 구조를 가지며, 각 바퀴의 회전 방향과 속도를 독립적으로 제어함으로써 다양한 방향으로 이동할 수 있는 전방향 이동 특성을 가진다. 이러한 구조적 특성은 차량이 좁은 공간에서도 유연하게 방향을 변경할 수 있도록 하며, 기존 차량 대비 이동 경로를 단순화하고 불필요한 회전 동작을 줄일 수 있는 장점을 가진다. 특히 지하 주차장과 같이 공간 제약이 큰 환경에서는 차량이 최소한의 공간만을 이용하여 목표 위치로 이동할 수 있으므로, 화재 대응 과정에서의 기동성과 접근성이 크게 향상될 수 있다.

본 연구에서 설계한 전방향 이동 시스템은 차량의 이동 명령 입력에 따라 각 구동 바퀴의 회전 동작을 제어하는 구조로 구성되어 있으며, 사용자가 입력한 이동 방향과 속도 정보를 기반으로 차량의 이동 상태를 결정하도록 설계하였다. 제어 시스템은 전진, 후진, 좌측 이동, 우측 이동, 대각선 이동 및 제자리 회전과 같은 다양한 이동 모드를 지원하도록 구성되었으며, 각 이동 모드에 대해 차량이 안정적으로 동작할 수 있도록 구동부의 회전

동작을 조정하도록 하였다. 또한 이동 중 급격한 방향 전환이나 속도 변화로 인해 차량이 불안정한 거동을 보이는 것을 방지하기 위하여, 각 바퀴의 회전 속도를 단계적으로 변화시키는 제어 로직을 적용하여 주행 안정성을 확보하였다.

특히 지하 주차장 환경에서는 차량 간 간격이 좁고 장애물이 많은 상황이 빈번하게 발생하므로, 차량이 목표 위치에 접근하는 과정에서 정밀한 위치 제어가 요구된다. 이를 위해 본 연구에서는 차량의 이동 속도를 일정 범위 내에서 제어하고, 방향 전환 시 차량의 자세가 급격히 변하지 않도록 이동 명령을 점진적으로 반영하는 방식의 제어 알고리즘을 설계하였다. 그림 2는 주행 동작에 따른 각 휠의 구동 방향을 정의한 제어 테이블을 나타낸 것이다.

```
const int wheelDirectionTable[ACTION_COUNT][WHEEL_COUNT] = {
  /* STOP */ { DIR_S, DIR_S, DIR_S, DIR_S }, // 원래 (A,B,C,D) → (B,A,D,C)
  /* FORWARD */ { DIR_R, DIR_R, DIR_F, DIR_F },
  /* BACKWARD */ { DIR_F, DIR_F, DIR_R, DIR_R },
  /* LEFT */ { DIR_R, DIR_F, DIR_R, DIR_F },
  /* RIGHT */ { DIR_F, DIR_R, DIR_F, DIR_R },
  /* ROTATE_LEFT */ { DIR_R, DIR_F, DIR_F, DIR_R },
  /* ROTATE_RIGHT */ { DIR_F, DIR_R, DIR_R, DIR_F },
  /* FRONT_FWD */ { DIR_R, DIR_R, DIR_S, DIR_S },
  /* FRONT_BWD */ { DIR_F, DIR_F, DIR_S, DIR_S },
  /* REAR_FWD */ { DIR_S, DIR_S, DIR_F, DIR_F },
  /* REAR_BWD */ { DIR_S, DIR_S, DIR_R, DIR_R },
  /* EXPAND */ { DIR_R, DIR_R, DIR_R, DIR_R },
  /* SHRINK */ { DIR_F, DIR_F, DIR_F, DIR_F }
};
```

[그림 2] 메카넘 휠 제어를 위한 제어 테이블

또한, 차량이 좁은 공간에서 반복적으로 방향을 변경하거나 위치를 조정해야 하는 상황을 고려하여, 다양한 이동 방향을 연속적으로 수행할 수 있는 제어 구조를 적용하였다. 이러한 제어 방식은 차량이 복잡한 환경에서도 안정적으로 이동할 수 있도록 하며, 화재 발생 위치 주변에서 차량의 위치를 미세하게 조정할 수 있도록 하는 데 중요한 역할을 한다.

또한 본 연구에서 구현한 전방향 이동 제어 알고리즘은 실제 소방차 플랫폼에 적용될 수 있도록 설계되었으며, 유선 또는 무선 제어 장치를 통해 차량의 이동 명령을 입력받아 실시간으로 구동부의 동작을 제어할 수 있도록 구성하였다. 이를 통해 소방대원이 차량 외부에서 원격으로 차량을 제어할 수 있으며, 화재 현장과 같은 위험한 환경에서도 안전하게 차량을 운용할 수 있도록 하였다. 특히 차량이 화재 차량 주변으로 접근하는 과정에서 전방향 이동 기능을 활용하여 차량의 위치를 정밀하게 조정할 수 있으므로, 소화 장비를 목표 지점에 정확하게 배치할 수 있는 장점을 가진다.

이와 같이 설계된 메카넘 휠 기반 전방향 이동 제어 알고리즘은 지하 주차장과 같이 공간 제약이 큰 환경에서 기존 차량 대비 높은 기동성과 위치 제어 성능을 제공할 수 있으며, 화재 발생 시 초기 대응 시간을 단축하고 화재 확산을 최소화하는 데 기여할 수 있다. 특히 전방향 이동 기능을 활용하여 차량의 이동 경로를

단순화하고 불필요한 회전 동작을 줄일 수 있으므로, 협소한 공간에서도 신속하고 안정적인 화재 대응이 가능하다. 이러한 전방향 이동 제어 기술은 지하 주차장뿐만 아니라 터널, 물류 창고, 대형 시설 내부 등 이동 공간이 제한된 다양한 환경에서도 적용 가능한 기반 기술로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

### 3. 결론

본 논문에서는 지하 주차장과 같이 협소하고 장애물이 많은 환경에서 전기차 화재 발생 지점까지 신속하게 접근할 수 있도록 메카닉 휠 기반 소방차의 전방향 이동 제어 알고리즘을 설계하고 이를 소방차 플랫폼에 적용하였다. 지하 주차장은 차량이 밀집되어 있고 회전 공간이 제한되는 구조적 특성을 가지므로, 기존 차량 방식으로는 신속한 접근과 정밀한 위치 제어가 어려운 문제가 존재한다. 이러한 환경적 제약을 극복하기 위하여 본 연구에서는 차량의 방향 전환 없이 다양한 방향으로 이동할 수 있는 전방향 이동 기능을 구현하고, 이를 안정적으로 운용할 수 있는 제어 알고리즘을 적용하였다.

제안된 전방향 이동 제어 알고리즘은 전진, 후진, 좌우 이동, 대각선 이동 및 제자리 회전과 같은 다양한 이동 동작을 수행할 수 있도록 설계되었으며, 협소한 공간에서도 차량의 위치를 신속하고 정확하게 조정할 수 있도록 하였다. 또한 이동 과정에서 발생할 수 있는 급격한 방향 변화와 속도 변동을 최소화하기 위한 제어 로직을 적용함으로써 차량의 주행 안정성과 운용 신뢰성을 확보할 수 있도록 하였다. 이를 통해 화재 발생 차량 주변으로의 접근성을 향상시키고, 소화 장비를 목표 위치에 정확하게 배치할 수 있는 기반을 마련하였다.

본 연구에서 설계한 메카닉 휠 기반 전방향 이동 제어 기술은 지하 주차장과 같이 공간 제약이 큰 환경에서 기존 차량 대비 높은 기동성과 운용 효율을 제공할 수 있으며, 화재 발생 시 초기 대응 시간을 단축하고 화재 확산을 최소화하는 데 기여할 수 있을 것으로 기대된다. 또한 본 연구에서 제안한 전방향 이동 제어 구조는 전기차 화재 대응 소방차뿐만 아니라 터널, 대형 물류 시설, 공장 내부 등 협소한 공간에서 이동성과 정밀 위치 제어가 요구되는 다양한 특수 목적 차량 시스템에 적용 가능한 기반 기술로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

향후 연구에서는 실제 지하 주차장 환경에서의 반복 주행 시험을 통해 이동 안정성과 위치 제어 성능에 대한 정량적 평가를 수행하고, 장애물 인식 센서 및 자율 주행 기능과 연계한 고도화된 이동 제어 기술을 적용함으로써 시스템의 실용성과 현장 적용성을 더욱 향상시킬 계획이다.

### 참고문헌

[1] Sun, Peiyi, et al. "A review of battery fires in electric

vehicles." *Fire technology* 56.4 (2020): 1361–1410.  
 [2] Bisschop, Roeland, et al. *Fire safety of lithium-ion batteries in road vehicles*. 2019.  
 [3] 방성혁, “지하주차장 내 전기자동차 화재·피난 시뮬레이션 연구”, *Journal National Heritage*, Vol 10.1, pp. 13–20, 4월, 2025  
 [4] Sturm, Peter, et al. "Fire tests with lithium-ion battery electric vehicles in road tunnels." *Fire Safety Journal* 134 (2022): 103695.

본 연구는 2026년도 중소벤처기업부의 산학연 Collabo R&D사업 지원에 의한 연구수행 결과물임을 밝힙니다. [과제 번호 : RS-2026-25527738]