

자율이동로봇(AMR)의 비상 정지 상황에서 탑재물 및 보행자 보호를 위한 종방향 속도제어에 관한 연구

조 영 응¹⁾ · 이 천 환^{*1)}

전남대학교 미래모빌리티융합학과¹⁾

A Study on Longitudinal Velocity Control for Payload and Pedestrian Protection During Emergency Braking of Autonomous Mobile Robots

Youngwoong Cho¹⁾ · Chunhwan Lee^{*1)}

Chonnam National University¹⁾

Key words : Autonomous Mobile Robot(자율이동로봇), Emergency braking(비상 정지), Velocity Control(속도 제어), Longitudinal Acceleration(종방향 가속도), MPC(모델 예측 제어)

* 교신저자, E-mail: chunhwan@jnu.ac.kr

자율이동로봇(Autonomous Mobile Robot, AMR)은 스마트 팩토리, 물류 창고, 병원 등 다양한 산업 환경에서 물류 자동화의 핵심 장비로 활용되고 있다. 또한 자율적인 경로 계획과 장애물 회피 기능을 바탕으로 효율적인 운반 작업을 수행하며, 사람과의 협업이 요구되는 환경에서도 중요한 역할을 한다. 그러나 주행 중 전방에 보행자나 장애물이 갑작스럽게 나타나는 경우 비상 정지가 요구되며, 이 과정에서 발생하는 급격한 감속은 큰 관성력을 유발하여 탑재물 낙하 및 보행자와의 충돌로 이어질 수 있다. 따라서 비상 정지 상황에서 감속 안정성을 확보하고 탑재물과 보행자의 안전을 동시에 고려한 속도제어 전략이 필요하다.

본 연구에서는 비상 정지 시 발생하는 급격한 감속을 완화하고 종방향 가속도를 효과적으로 제어하기 위해, 초기 속도와 목표 정지거리를 고려한 Cosine 기반 S-Curve 형태의 속도 프로파일을 설계하였다. 여기서 v_o 는 현재 자율이동로봇의 주행 속도, t_s 는 정지 위치까지 소요 시간을 나타낸다.

$$v(t) = \frac{v_o}{2} \left(1 + \cos \left(\pi \frac{t}{t_s} \right) \right)$$

본 연구에서는 속도 프로파일을 안정적으로 추종하기 위해 모델 예측 제어(Model Predictive Control, MPC) 기법을 사용하였다. 모델 예측 제어는 시스템의 미래 상태를 예측하고 다양한 제약조건을 동시에 고려할 수 있으므로, 비상 정지 상황에서 감속 특성과 제동거리 조건을 반영하기 위한 제어 기법으로 적용하였다. 제안한 제어기의 성능을 검증하기 위해 4륜 구동 자율이동로봇을 활용하여 다양한 제동거리 조건에서 실험적으로 검증하고, PID 제어 및 LQR 제어 방식과 비교하였다.

실험 결과, 제안한 제어기는 기존 PID 제어 및 LQR 제어 방식과 동일한 제동거리를 보여주면서, 종방향 가속도 응답 특성은 보다 완만하고 안정적인 성능 특성을 보였다. 특히, 비상 정지 시 탑재물의 안정성과 보행자의 충돌 위험 최소화 측면에서도 모델 예측 제어가 효과적으로 안전성을 확보할 수 있음을 확인하였다.



Fig. 1 Autonomous Mobile Robot (AMR)

이 논문은 산업통상자원부 스마트그린산업단지 촉진사업(스마트그린 AX실증산단) 및 2026년도 교육부 및 광주광역시의 재원으로 광주RISE센터의 지원을 받아 수행된 지역혁신중심 대학지원체계(RISE) (2026-RISE-05-011, 50%)와 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원-지역지능화혁신인재양성사업의 지원을 받아 수행된 연구임(IITP-2026-RS-2022-00156287, 50%)