

전기차의 멀미 저감과 에너지 효율 향상 동시 달성을 위한 모델 예측 제어 기반 종방향 주행 제어에 관한 연구

김 부 성¹⁾ · 이 천 환^{*1)}

전남대학교 미래모빌리티융합학과¹⁾

A Study on the Longitudinal Driving Control Based on Model Prediction Control for Reducing Motion Sickness and Improving Energy Efficiency of Electric Vehicles

Buseong Kim¹⁾ · Chunhwan Lee^{*1)}

Department of Future Mobility Convergence, Chonnam National University¹⁾

Key words : Electric Autonomous Vehicle(전기 자율차), Energy Efficiency(에너지 효율), Motion Sickness(멀미), Model Predictive Control(모델 예측 제어)

* 교신저자, E-mail: chunhwan@jnu.ac.kr

최근 전기 구동 차량(EV)은 모터의 고토크 특성과 회생제동 개입에 따른 기존 내연기관과 다른 가속 패턴으로 인해 탑승자의 멀미를 유발한다는 문제가 제기되고 있다. 이를 완화하기 위해 부드러운 가속 및 회생제동 강도를 낮추는 제어 전략을 적용할 수 있으나, 이는 에너지 회수량 감소로 이어져 에너지 효율 저하를 초래한다. 즉, 전기차 주행에서는 멀미 저감과 에너지 효율 향상 간의 명확한 상충 관계(trade-off)가 존재한다. 하지만 자율주행 기반 전기차의 상용화가 가속화됨에 따라, 탑승자 쾌적성과 에너지 효율을 동시에 만족시키는 주행 제어 전략의 필요성이 증가하고 있다. 이에 본 연구에서는 속도 추종 성능을 유지하면서 멀미 저감과 에너지 효율 향상을 동시에 달성하기 위한 모델 예측 제어(Model Predictive Control, MPC) 기반 통합 종방향 제어를 제안한다.

본 연구의 주요 기여는 전력전자 기반 구동 시스템(Power Electronics system, PE system)을 고려하여 전기자동차의 에너지 흐름과 종방향 거동 특성을 정밀하게 모델링하고, 이를 제어기 설계에 통합한 점에 있다. 배터리, 인버터, 전기 모터 및 회생제동으로 이어지는 에너지 전달 구조를 반영함으로써 주행 시 에너지 소모 및 회수 특성을 정량적으로 표현하였으며, 전기차 특유의 가속 응답 특성을 재현할 수 있는 플랜트 모델을 구축하였다. 이는 기존의 단순 차량 동역학 기반 제어기 설계에서 고려되지 않았던 전기차 고유의 에너지 거동 특성을 제어기 내부에서 직접 반영할 수 있도록 한다는 점에서 의미가 있다. 또한 MPC의 예측 모델 구성 단계에서 차량 가속도를 입력으로 하는 이석기관(Otolith Organ) 전달함수 기반 멀미 예측 모델을 포함함으로써, 기존의 주파수 기반 사후 평가 방식과 달리 멀미를 제어 목적 함수에 직접 반영할 수 있도록 하였다. 이를 통해 제어기는 멀미 지수, 에너지 소비를 동시에 고려하는 다목적 최적화 문제를 실시간으로 해결할 수 있으며, 단일 성능 지표에 국한된 기존 제어 방식과 달리 상충 관계를 고려한 통합 최적 제어가 가능하다. 결과적으로 제안된 제어 구조는 전기차의 물리적 특성과 탑승자 인지 특성을 동시에 반영함으로써, 보다 현실적인 주행 성능 최적화를 가능하게 한다.

제안한 제어 기법의 실시간 적용 가능성과 신뢰성을 검증하기 위해 HILS(Hardware-in-the-Loop Simulation) 기반 검증을 수행하였다. 실제 제어기를 포함한 폐루프 환경에서 제어 알고리즘을 구동하고, 연산 지연 및 시스템 동특성이 반영된 조건에서 속도 추종 성능, 멀미 지수 변화, 에너지 효율을 종합적으로 평가하였다. 검증 결과, 제안된 모델 예측 제어기는 기존 단순 추종 방식 대비 속도 추종 성능을 유지하면서도 멀미 지수는 감소하고 에너지 효율은 유의미하게 향상되는 성능을 보였다. 또한 HILS 환경에서도 동일한 성능 경향이 확인되어, 제안한 제어 기법이 실시간 환경에서도 안정적으로 동작함을 확인하였다.

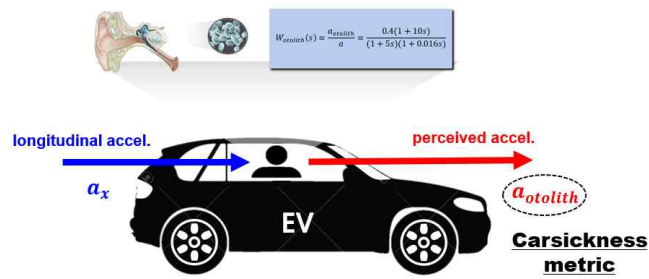


Fig. 1 Carsickness prediction in EV based on Otolith Organ

이 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원-지역지능화혁신인재양성사업의 지원을 받아 수행된 연구임(IITP-2026-RS-2022-00156287, 50%).

이 논문은 산업통상자원부 스마트그린산업단지 촉진사업(스마트그린 AX실증산단)의 지원을 받아 수행된 연구임.

이 논문은 2026년도 교육부 및 광주광역시의 재원으로 광주RISE센터의 지원을 받아 수행된 지역혁신중심 대학지원체계 (RISE) 사업의 결과임. (2026-RISE-05-011, 50%)