

틸팅 모빌리티의 강인한 롤 안정성을 위한 외란 관측기 기반 제어기 설계

이 선 엽¹⁾ · 조 현 석²⁾ · 남 강 현^{*1)}

영남대학교 기계공학과¹⁾ · 현대자동차²⁾

Design of a Disturbance Observer-Based Controller for Robust Roll Stability of Tilting Mobility

Sunyeop Lee¹⁾ · Hyeonseok Cho²⁾ · Kanghyun Nam^{*1)}

Yeungnam University¹⁾, Hyundai (Kia Namyang) Research and Development Center²⁾

Key words : Narrow Tilting Mobility(좁은 틸팅 모빌리티), Lateral Load Transfer Ratio(하중 이동 비율), Cascade control(다단 제어), Stability Control(안정성 제어), Disturbance Observer(외란관측기), Hardware-in-the-loop(하드웨어 인 더 루프)

교신저자, E-mail: khnam@yu.ac.kr

도시화와 함께 교통 혼잡, 대기오염, 주차 공간 부족 등의 문제가 심화됨에 따라, 전폭이 좁은 차량이 새로운 대안으로 주목받고 있다. 이러한 차량은 차체 폭이 좁아 공간 활용과 기동성 측면에서 장점을 가지지만, 곡선 주행 시 전복 위험이 상대적으로 크다는 구조적 한계가 있다. 차량의 롤을 액티브하게 제어할 수 있는 구조를 추가하여 전복 위험에 대비할 수 있으며, 이러한 구조를 포함한 차량을 좁은 틸팅 모빌리티(Narrow Tilting Vehicle, NTV)라 한다. 본 연구에서는 NTV의 롤 안정성 확보를 위한 제어 전략을 제안하며, 차량의 동적 특성을 정량적으로 분석하고 이를 기반으로 효과적인 틸팅 제어기를 구성하였다.

본 연구에서 제안하는 제어기는 롤 각을 직접 추종하는 내부 루프와 차량 상태(속도 및 조향각 등)에 따라 목표 롤 각을 생성하는 외부 루프로 구성된 계단형(cascade) 구조를 가지고 있다. 특히 내부 루프의 강건한 제어를 위해 외란 관측기(Disturbance Observer, DOB)를 추가적으로 적용하여 예측하지 못한 외란이나 모델 불확실성에 효과적으로 대응할 수 있도록 하였다. 제안된 제어기의 롤 안전성을 정량적으로 판단하기 위한 지표로 하중 이동 비율(Lateral Load Transfer Ratio, LTR)과 운전자가 느끼는 횡방향 가속도를 활용하였다.

제안된 제어기의 유효성을 검증하기 위해 하드웨어 인 더 루프(Hardware-in-the-loop, HIL) 시뮬레이션 환경을 구성하였다. 실제 차량 모델과 실시간 차량 시뮬레이터(CarSim)를 연동하여 다양한 주행 조건에서 틸팅 제어기의 성능을 검토하였으며, 자율 주행 모드와 운전자 수동 조작 모드 모두에서 실시간 응답성과 안정성을 확인하였다. 시뮬레이션 항목으로는 차선 변경(Double Lane Change), 원선회 주행(Constant Radius Cornering), 그리고 운전자 조작 기반의 자유 주행이 포함되었으며, 그 결과 틸팅 제어 적용 시 LTR과 운전자의 횡방향 가속도가 유의미하게 감소함을 확인하였다.

This work was supported by the National Research Foundation of Korea(NRF) grant funded by the Korea government(MSIT) (No. 2022R1C1C1011785).

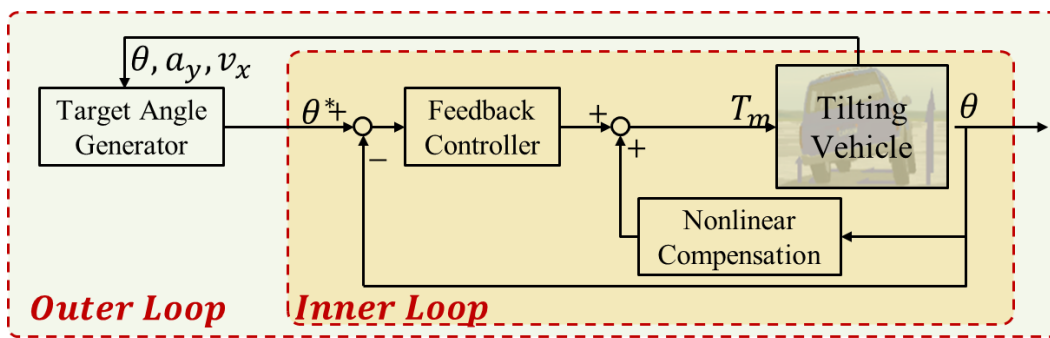


Photo. 1 Block diagram of the vehicle controller



Photo. 2 Hardware-in-the-loop simulation environment

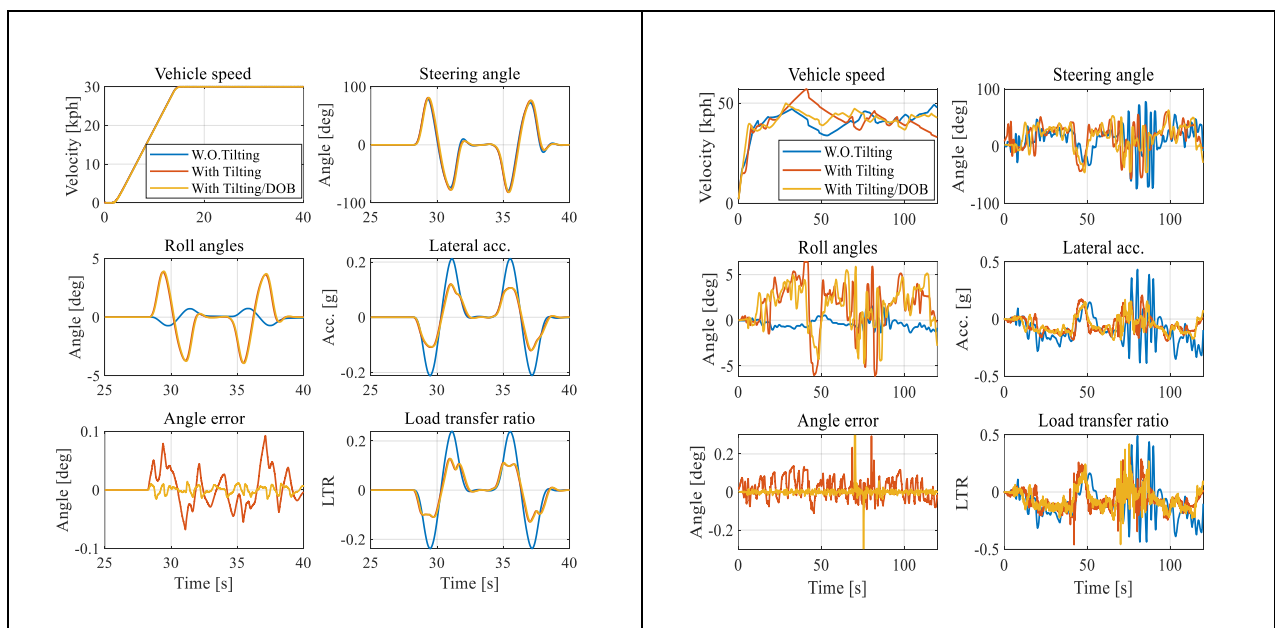


Photo. 3 The Simulation results of double lane change and free driving condition