

세미 트레일러 트럭의 동역학과 횡방향 지연을 고려한

딥러닝 기반 굴절각 추정 및 횡방향 제어 시스템 개발

오 병 규¹⁾ · 안 윤 용²⁾ · 김 기 훈²⁾ · 한 상 원^{*1)}

경상국립대학교 스마트에너지기계공학과¹⁾

한양대학교 미래자동차공학과²⁾

Deep Learning-Based Articulation Angle Estimation and Lateral Control System for Semi-Trailer Trucks Considering Dynamics and Lateral Delay

Byeongkyu Oh¹⁾ · Yoonyong Ahn²⁾ · Gihoon Kim²⁾ · Sangwon Han^{*1)}

¹⁾ Department of Smart Energy and Mechanical Engineering, Gyeongsang National University, 04763, Republic of Korea

²⁾ Department of Automotive Engineering, Hanyang University 222 WangShimni-ro, Seongdong-gu, Seoul 133-791, Korea

Key words : Semi-trailer Truck (세미 트레일러 트럭), Autonomous Commercial Vehicle (자율주행 상용차), Articulation Angle Estimation (굴절각 추정), Lateral Delay Compensation (횡방향 지연 보상), Lateral Control System (횡방향 제어 시스템)

*교신저자, E-mail: hansw@gnu.ac.kr

대형 상용차량인 세미 트레일러 트럭의 차선 유지 및 경로 추종 안정성을 확보하기 위한 횡방향 제어 기술 개발은 자율주행 및 운전자 지원 기술의 고도화와 함께 필수적으로 요구되고 있다. 세미 트레일러 트럭은 대형 차체와 트레일러 체결에 따른 굴절 구조, 다양한 적재량 변화로 인해 동특성이 크게 변동하며, 트랙터-트레일러 간 굴절 각도 변화와 조향 입력에서 발생하는 횡방향 거동 지연으로 인해 차선 이탈 및 경로 추종 성능 저하가 빈번히 발생한다. 이러한 불안정성은 대형 사고로 이어질 수 있으므로 차량 특성을 반영한 안정적인 제어 시스템이 요구된다.

본 연구에서는 트랙터-트레일러 조합 차량의 기구학 및 동역학 모델을 통합적으로 활용하고, 트레일러 동역학과 횡방향 지연을 반영한 횡방향 제어 알고리즘을 제안한다. 다양한 속도 영역에서 트레일러 굴절 각도를 정확히 추정하기 위해 Multi-head attention 기반 상태 추정기를 설계하였다. 제안한 시스템은 차량의 가속도, 속도, yaw rate 지연에 따른 트레일러 동역학 특성을 학습해 굴절 각 추정 성능을 향상시켰으며, 기존 칼만 필터 기반 기법 대비 높은 정확도를 확보하였다. 또한, 추정된 굴절 각을 이용해 트랙터-트레일러의 기하학·동역학 특성을 반영한 조향 제어 알고리즘을 구성하고, 미래 상태 예측 기반 보상 메커니즘으로 횡방향 거동 지연을 효과적으로 보상하였다.

제안한 횡방향 제어 알고리즘은 다양한 적재량 조건과 조향 지연 시뮬레이션 환경을 구축하여 기존 제어기 대비 트랙터와 트레일러 각각의 횡방향 편차를 현저히 감소시키는 것으로 나타났으며, 조향 지연과 적재량 변화에도 견고한 차선 유지 성능을 유지함을 확인하였다. 본 연구에서 제안한 횡방향 제어 프레임워크는 세미 트레일러 트럭의 트레일러 동역학, 적재량 변화, 횡방향 지연을 동시에 고려함으로써, 향후 대형 상용차량용 자율주행 및 운전자 지원 시스템에 적용 가능한 실용적인 조향 제어 솔루션으로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

이 성과는 과학기술정보통신부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (IRIS RS-2026-25499241). 또한, 2026년도 경상국립대학교 글로벌대학30사업의 지원을 받아 수행되었음.

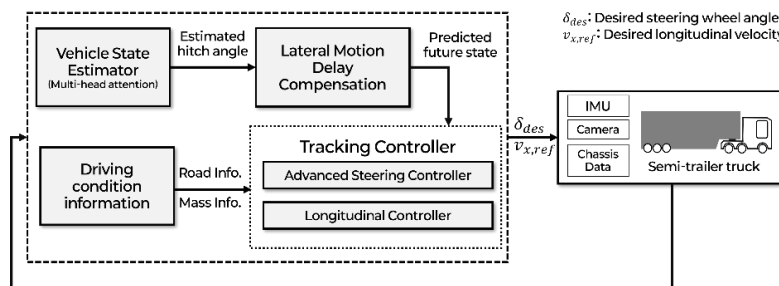


Fig. 1 Overall architecture of the proposed lateral control system for semi-trailer trucks.