

후륜 조향을 활용한 멀미 저감을 위한 요 모션 제어 기술 연구

이 태 연¹⁾, 정 용 환²⁾

서울과학기술대학교 자동차공학과¹⁾, 서울과학기술대학교 기계·자동차공학과²⁾

Yaw Motion Control with Rear Wheel Steering for Motion Sickness Mitigation

TaeYeon Lee¹⁾ · Yonghwan Jeong²⁾

Department of Automotive Engineering, Seoul National University of Science and Technology¹⁾

Department of Mechanical and Automotive Engineering, Seoul National University of Science and Technology²⁾

Key words : Motion Sickness(멀미), Lateral Acceleration(횡가속도), Yaw Motion Control(요 모션 제어), Rear Wheel Steering(후륜 조향),

교신저자, E-mail: yh.jeong@seoultech.ac.kr

자율주행 기술의 발전과 미래형 모빌리티의 등장으로 인해 탑승자에게 최적의 승차 경험을 제공하는 것이 차량 설계의 중요한 목표로 부각되고 있다. 이러한 맥락에서 멀미를 줄이기 위한 연구는 점점 더 많은 관심을 받고 있으며, 특히 시각 정보와 차량 거동이 멀미 감소 전략에 핵심적인 역할을 한다는 것이 최근 연구에서 강조되고 있다. 이와 관련하여, 운전자의 선호에 맞춘 주행 스타일을 고려한 모션 제어가 멀미 예방에 중요한 역할을 하며, 특히 요(yaw) 축의 움직임을 관리하는 것이 멀미 감소의 핵심 요소로 지적되고 있다. 이는 멀미가 주로 신체의 감각 신호 간 불일치로 인해 발생하는데, 특히 반고리관의 적응 및 코리올리 효과와 관련된 회전 운동이 이러한 불일치를 초래하기 때문이다.

기존 연구에 따르면 횡방향 가속도가 큰 환경에서 탑승자가 경험하는 감각 신호의 불일치가 멀미의 주요 원인으로 작용하며, 탑승자가 능동적으로 머리 기울기를 제어하는 전략이 멀미를 효과적으로 줄일 수 있음이 알려져 있다. 이러한 배경을 바탕으로 본 연구에서는 높은 횡가속도 조건에서 탑승자의 머리 기울기 발생을 최소화하는 것을 목표로 하는 요 모션 제어기를 제안하였다. 본 연구에서 제안한 제어기는 탑승자의 머리 기울기의 발생을 해당 위치에서의 가속도에 따른 영향으로 고려하므로, 식 (1)과 같이 머리에서의 가속도와 요 레이트 추종 오차를 고려하는 비용 함수를 사용하였다.

$$J = \left(a_{y,c,g} + \ddot{\psi} \cdot x_{arm} - \dot{\psi}^2 \cdot y_{arm} \right)^2 + k \left(\dot{\psi} - \dot{\psi}_{des} \right)^2 \quad (1)$$

주행 시나리오는 MATLAB/Simulink와 CarSim 환경에서 구현된 더블 레인 체인지(DLC) 시뮬레이션을 통해 검증되었으며 전체 시스템 로직은 그림 1과 같다. 본 연구의 목표는 다양한 주행 상황에서 멀미를 효과적으로 줄일 수 있는 최적의 전/후륜 조향 제어 로직을 개발하는 것이다. 이를 위해 매스-스프링-댐퍼 시스템을 이용하여 탑승자의 머리 기울기를 모델링하고, 요 모션에 따른 머리 기울기와 가속도를 계산하여 활용하였다. 시뮬레이션 연구에서는 식 (1)의 가중치 k 를 조절함으로써 제어 목적에 따른 최적의 성능을 도출하고자 하였다. 멀미 저감을 목적으로 한 최적화 주행에서는 승객의 머리에 가해지는 횡방향 가속도가 가장 적게 나타났고, 요 속도 추종을 목적으로 한 주행에서는 승객의 머리 가속도보다 요 레이트를 우선적으로 추종하는 결과가 도출되었다. 이는 요 레이트 추종 성능과 멀미 저감 성능이 상반되는 경향을 보인다는 점을 시사한다.

본 연구의 결과는 요 모션 제어가 승객의 머리에 가해지는 횡방향 가속도를 줄이는 데 효과적이라는 사실을 확인하였으며, 이는 멀미 감소에 기여할 수 있음을 시사한다. 이를 통해 탑승자 중심의 미래형 모빌리티 솔루션 개발에 기여하기를 기대한다.

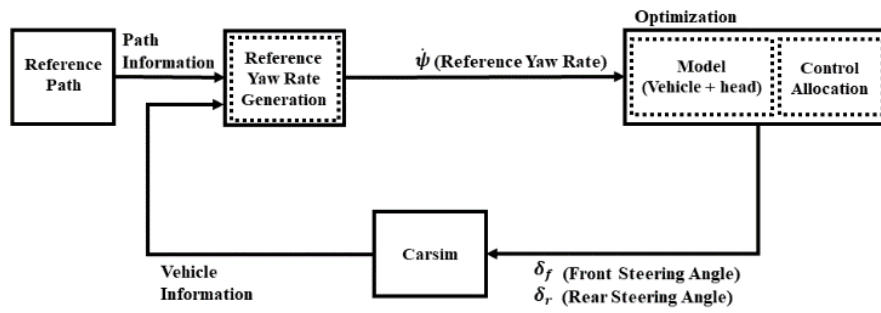


Photo . 1 Overall architecture of the proposed controller