

ESC 제어 개입 환경에서의 타이어 성능 지표 도출을 위한 가상 주행 시뮬레이션

이선 환경 개발

김하나¹⁾·서지은¹⁾·이은재²⁾·이수진²⁾·김수영¹⁾·이종협^{*1)}

숙명여자대학교 기계시스템학부¹⁾·한국타이어앤테크놀로지²⁾

Development of a virtual driving simulation environment for deriving tire performance indicators in an ESC control intervention environment

Hana Kim¹⁾ · Jieun Seo¹⁾ · Eunjae Lee²⁾ · Sujin Lee²⁾ · Sooyoung Kim¹⁾ · Jonghyup Lee^{*1)}

Sookmyung Women University¹⁾, Hankook Tire & Technology²⁾

Key words: ESC(전자 안정성 제어), Virtual Simulation(가상 시뮬레이션), Tire Performance Evaluation(타이어 성능 평가), Vehicle Dynamics(차량 동역학), CarMaker(카메이커), Sine with Dwell(사인 위드 드웰)

교신저자, E-mail: jhyuplee@sookmyung.ac.kr

차량 및 타이어 개발 초기 단계에서 시간과 비용을 절감할 수 있는 가상(Virtual) 환경의 필요성은 지속적으로 증가하고 있다. 특히 타이어의 횡방향 성능을 정밀하게 평가하기 위해서는 전자식 자세 제어 시스템(ESC, Electronic Stability Control)의 개입이 차량 거동에 미치는 영향을 고려한 시뮬레이션 기반 분석이 필수적이다. ESC는 상황에 따라 각 바퀴에 선택적으로 제동력을 분배하는 편제동 제어를 통해 차량의 자세 안정성을 확보하며, 조향 시 타이어 성능 평가에 있어 핵심적인 요소로 작용한다. 따라서, 시뮬레이션 환경에서 ESC 제어를 포함한 실차 거동을 정밀하게 모사하는 것은 신뢰성 있는 성능 분석을 위해 매우 중요하다.

본 연구에서는 실차 데이터 기반의 분석을 통해 ESC 개입 조건과 제어 변수들을 도출하고, 이를 바탕으로 신뢰성 높은 ESC 제어 알고리즘을 가상 환경에 구현하였다. 제어 구조는 안정성 판단 모듈, 상위 제어기, 하위 제어기의 3단계로 구성되며, yaw rate, 횡가속도, 측 슬립 각 변화율 등의 동역학 변수를 기반으로 ESC 활성화 여부를 판단한다. 상위 제어기는 목표 yaw moment를 연산하고, 하위 제어기는 차량의 동적 하중 이동 및 바퀴별 수직하중을 고려하여 제동 토크를 계산·분배함으로써 제어

안정성을 확보한다.

정확한 ESC 알고리즘 평가를 위해, 상용 시뮬레이션 플랫폼인 IPG CarMaker를 활용하여 Sine with Dwell 시나리오를 구현하였으며, 이를 통해 급격한 조향 및 회복 조건에서의 차량 거동을 정밀하게 모사하였다. 시뮬레이션 결과는 실차 주행 데이터와 정량적으로 비교·분석되었고, 이를 통해 제어기 구현의 신뢰성을 검증하였다. 아울러 시뮬레이션 환경에서는 타이어 모델, 노면 마찰계수, 차량 하중 등의 조건을 반복적으로 변경함으로써 ESC 개입 조건에서의 타이어 성능 차이를 명확히 비교할 수 있었다. 그 결과, ESC 미개입 조건에서는 목표 yaw rate를 추종하지 못하고 과도하게 발산하거나 진동하는 현상이 발생한 반면, ESC가 활성화된 경우에는 yaw rate가 목표값에 안정적으로 수렴함을 확인하였다. 특히 동일한 제어를 적용한 상태에서도 타이어 종류에 따라 yaw rate error, 측 슬립 각 등의 지표에서 유의미한 성능 차이가 나타났다. 이러한 결과는 타이어 특성에 따른 차량 응답 차이를 정량적으로 파악하고, 반복 가능한 조건에서 이를 재현할 수 있는 시뮬레이션 기반 평가 방법의 유효성을 입증한다.

본 연구는 ESC 제어가 개입되는 극한 주행 상황에서의 타이어 성능 분석을 위해 정교하게

구성된 가상 시뮬레이션 환경을 제시하였으며, 정량적 성능 지표 기반의 평가 및 시각화 방법을 통해 다양한 타이어 간 성능 차이를 객관적으로 비교할 수 있는 체계적 프레임워크를 마련하였다. 이 방법론은 타이어 개발 초기 단계에서의 설계 선택 및 최적화를 효과적으로 지원하며, 향후 제어기 설계, 차량 통합 성능 분석, 자율주행 안정성 평가 등 다양한 분야로의 확장이 가능할 것으로 기대된다.