

Two Motor Drive 전기차에서 Coasting Regenerative Braking 중

휠 슬립 및 Yaw 안정성을 위한 토크 분배 제어

주 성 경¹⁾ · 임 채 호²⁾ · 황 윤 정¹⁾ · 김 수 영^{*1)} · 가 한 선³⁾ · 송 진 석³⁾

숙명여자대학교 기계시스템학과¹⁾ · 한국과학기술원 기계공학과²⁾ · 현대자동차 차량구동제어개발1팀³⁾

Torque Distribution Control for Enhanced Wheel Slip and Yaw Stability

During Coasting Regenerative Braking in Two Motor Drive EVs

Seonggyeong Ju¹⁾ · Chacho Lim²⁾ · Yunjeong Hwang¹⁾ · Sooyoung Kim^{*1)} · HanSeon Ga³⁾ · Jinseok Song³⁾

Department of Mechanical Systems Engineering, Sookmyung Women's University ¹⁾, Department of Mechanical Engineering, KAIST²⁾,
Vehicle Drive Control Development Team 1, Hyundai Motor Company³⁾

Key words : Electric Vehicle Control, Regenerative Braking, Coasting Regenerative, Torque Distribution, Wheel Slip Control, Yaw Stability Control, Energy Efficiency

교신저자, E-mail: syk@sookmyung.ac.kr

전기차는 환경 친화적이면서도 높은 에너지 효율성을 보여, 최근 각국의 정책 영향으로 양산되는 전기차 및 전 기차의 등록수가 꾸준히 증가하고 있다. 이에 따라 전기차의 안전 제어 및 전비 효율에 대한 관심이 증가하고 관 련된 다양한 옵션이 전기차에 적용되고 있다. 그 중 회생제동은 가속 페달에서 발을 떼는 순간 구동 모터가 발전 기가 되어 전기차의 배터리를 충전하고 전비를 개선하도록 돕는 시스템으로 연비 개선을 위해 회생제동의 작동 영역이 점차 늘어나고 있다. 하지만 이에 따라 회생 제동 중 휠 슬립 현상 및 핸들링 성능 저하가 발생하기도 하 며, 이는 사고로 이어질 수 있어 주의가 필요하다.

따라서, 본 연구에서는 양산형 Two motor drive 전기차에서 전/후륜 모터 토크 분배만을 이용하여 coasting regenerative braking 중 발생하는 종방향 휠 슬립과 yaw 안정성을 동시에 제어하는 로직을 제안한다. 이를 통 해 차량의 핸들링 성능을 향상시키는 동시에, 회생제동 미사용 영역을 축소하여 전기차의 전비 또한 개선하고자 한다.

제안된 로직은 네 가지 주요 로직으로 이루어져 있다. 첫번째는 휠 슬립 판단 로직으로, 각 휠의 슬립률, 슬립 변화율, 미래 슬립 예측 값을 활용하여 총 6가지 phase로 구분한다. Phase1은 휠 슬립에 여유가 있는 상태이며, phase2-3은 휠 슬립이 불안정한 상태, phase4-6은 휠 슬립이 안정된 상태를 나타낸다. 이러한 단계적 판단을 통해 슬립이 과도하게 증가하는 것을 방지하고, 안정적인 주행이 가능하도록 한다. 두번째는 제어 모드 판단 로 직이다. 각 휠의 현재 상태를 실시간으로 모니터링하며 슬립 발생 현황에 따라 state를 4가지로 나누고 각 모터 에 적절한 제어 모드를 결정한다. 이를 통해 불필요한 제어 간섭을 줄이고, 시스템의 신뢰성을 높이하고자 하였다. 세번째는 휠 슬립 제어 로직으로, 앞서 판단된 phase 정보를 활용하여 휠 슬립을 안정적으로 제어하는 역할을 한다. 각 phase에 적절한 회생 제동 토크를 입력하여 차량이 미끄러지지 않도록 방지하며, 효율적인 제동 성능 을 확보한다. 마지막으로 yaw 안정성 제어 로직에서는 목표 yaw rate와 현재 yaw rate의 오차를 이용하여 corrective yaw moment를 계산하고 이를 기반으로 각 모터 토크의 증분량을 계산하도록 하였다. 이때, 최대 사 용 가능한 토크 값을 나타내는 $T_{b,max}$ 개념을 도입하여 휠 슬립이 일어나지 않는 범위 내에서 제어 토크를 입력 하도록 하였다. 이를 통해 yaw 제어 로직과 슬립 제어 로직의 전환 빈도를 감소시키고 제어의 안전성을 높이고 자 하였다.

제안된 제어 로직은 Carsim 드라이빙 시뮬레이터를 통해 검증하였으며, 실제 차량에 적용되고 있는 기존 로직

과 비교 실험을 진행하였다. 이후 실차 제어기 내에 알고리즘을 구현하여 실제 주행 평가를 수행하였다. 빙판길 환경에서 차량이 일정 속도까지 가속한 후 coasting regenerative braking 상태에서 J-turn을 수행하는 실험을 통해 회생제동량과 yaw rate 추종 성능, 휠 슬립률을 측정하였다. 실험 결과, 제안된 로직을 적용했을 때 기존 로직 대비 회생 제동 사용량이 증가하였으며, yaw rate 추종 성능이 크게 개선되었다. 또한, 휠 슬립률 역시 안정적인 범위 내에서 효과적으로 제어되는 것을 확인하였다.

본 연구에서는 coasting regenerative 상황에서 전/후륜 모터 토크를 개별적으로 제어하여 yaw 안정성과 휠 슬립을 효과적으로 제어하는 로직을 개발하였다. 이를 통해 회생제동 효율을 유지하면서도 제동 안정성을 확보할 수 있음을 확인하였다. 제안된 방법은 향후 다양한 노면 환경에서 추가 검증을 진행하여 제어 로직의 실용성을 높이는 방향으로 연구를 확장할 예정이다.

이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (Nos. RS-2023-00279679 and NRF-2022H1D8A3037394).

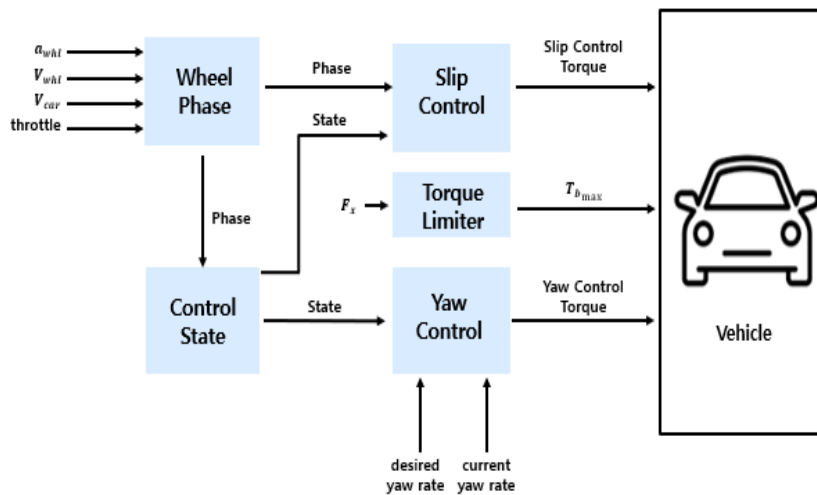


Photo. 1 Overall Logic Schematic