

전기기계식 브레이크 (EMB)와 유압식 브레이크의 ABS 제동 성능 비교 분석

최 희 원¹⁾ · 장 찬 우²⁾ · 하 인 호¹⁾ · 문 찬 준¹⁾ · 장 우 인²⁾ · 우 승 훈^{*1)}

국민대학교 자동차공학과¹⁾ · 국민대학교 자동차IT융합학과²⁾

Comparative Evaluation of ABS Braking Performance in Electro-Mechanical Brakes (EMB) and Hydraulic Brake Systems

Heewon Choi¹⁾ · Chanwoo Jang²⁾ · Inho Ha¹⁾ · Chanjun Moon¹⁾ · Woojin Chang²⁾ · Seunghoon Woo^{*1)}

Department of Automotive Engineering, Kookmin University¹⁾,
Department of Automobile and IT Convergence, Kookmin University²⁾

Key words : Anti-lock Braking System(ABS), Electro-Mechanical Brake (EMB, 전기기계식 브레이크), Hydraulic (유압식), Slip ratio(슬립률)

* 교신저자, E-mail: boltra@kookmin.ac.kr

자동차 제동 시스템은 차량의 안전성과 주행 안정성을 좌우하는 핵심 요소이며, 특히 급제동 상황에서 휠 잠김을 방지하고 조향 안정성을 확보하기 위해 ABS(Anti-lock Braking System)가 널리 활용되고 있다. 현재 대부분의 차량에는 유압식 브레이크 시스템이 적용되어 있으나, 유압 전달 과정에서 발생하는 응답 지연과 압력 동특성으로 인해 제동 토크 제어 정밀도에 한계가 존재한다. 반면 전기기계식 브레이크(Electro-Mechanical Brake, EMB)는 전기 모터 기반으로 제동력을 직접 생성함으로써 빠른 응답성과 높은 제어 자유도를 제공할 수 있는 차세대 제동 시스템으로 주목받고 있다.

본 연구에서는 동일한 ABS 제어 구조를 적용한 조건에서 유압식 브레이크와 EMB 시스템의 제동 성능을 비교·분석하고, 제동 시스템 하드웨어 특성이 ABS 작동 특성 및 차량 거동에 미치는 영향을 평가하였다. 이를 위해 MATLAB/Simulink와 CarMaker 기반의 차량 제동 시뮬레이션 환경을 구축하고, 타이어-노면 마찰계수 추정 알고리즘과 슬립률 기반 ABS 제어를 설계하였다. 또한 유압식 브레이크의 유압 전달 동특성과 EMB의 모터-볼스크류 기반 구동 특성을 각각 모델링하여 동일한 제동 조건에서 두 시스템의 응답 특성을 비교하였다.

시뮬레이션은 초기 속도 80 km/h에서 급제동 상황을 가정하여 수행하였으며, 건조 노면($\mu=0.8$)과 저마찰 노면($\mu=0.3$) 조건에서 제동 거리, 제동 토크 응답, 슬립률 추종 특성 및 차량 종방향 가속도를 주요 평가 지표로 분석하였다. 제동거리 비교 결과, 건조 노면($\mu=0.8$) 조건에서 EMB 시스템은 유압식 브레이크 대비 약 6.9% 짧은 제동거리를 나타냈으며, 저마찰 노면($\mu=0.3$)에서는 약 1.4%의 차이를 보였다. ABS 작동 구간에서 EMB는 목표 제동 토크에 보다 빠르게 도달하며 가·감압 응답이 비교적 즉각적으로 이루어지는 특성을 보였고, 이러한 응답 특성은 슬립률 거동에도 반영되어 목표 슬립률 주변에서 비교적 작은 진폭의 변동을 유지하였다. 또한 종방향 가속도 변화 역시 유압식 브레이크 대비 변동 폭이 작게 나타나 감속 과정에서 보다 안정적인 차량 거동을 보였다.

이러한 결과는 EMB 시스템이 제동 토크 응답성과 슬립 제어 정밀도 측면에서 기존 유압식 브레이크 대비 구조적 이점을 가질 수 있음을 보여준다. 따라서 본 연구는 ABS 제어 환경에서 EMB와 유압식 브레이크의 제동 특성을 비교 분석함으로써 차세대 Brake-By-Wire 제동 시스템의 설계 및 제어 전략 수립을 위한 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구는 2025년 국민대학교 대학혁신지원사업의 지원을 받아 진행되었습니다. 연구에 도움을 주신 국민대학교 TEAM교육인증센터에 감사의 말씀을 남깁니다.