

강체 동역학 기반 4륜 독립 구동 전동화 모듈의 브레이크 클램프 하중 특성 연구

김 석 범¹⁾ · 고 동 신^{*1)}

고등기술연구원¹⁾

A Study on the Brake Clamp Load Characteristics of a Four-Wheel Independent-Drive Electrified Module Based on Rigid Body Dynamics

Seokbeom Kim¹⁾ · Dongshin Ko^{*1)}

Institute for Advanced Engineering¹

Key words : E-Corner Module(이코너 모듈), Disc Brake(디스크 브레이크), Rigid Multibody Dynamics(강체 다물체 동역학)

* 교신저자, E-mail: dsko@iae.re.kr

본 연구는 미래 모빌리티용 4륜 독립 구동 전동화 모듈에 적용되는 유압 디스크 브레이크 시스템의 제동 특성을 분석하고, 경사로 제동 조건에서 요구되는 브레이크 클램프 하중과 유압 요구 특성을 연구하였다. 4륜 독립 구동 시스템은 각 휠의 구동 및 제동을 독립적으로 제어할 수 있어 주행 안정성과 제동 성능 향상 측면에서 유리하지만, 경사로와 같은 악조건에서는 축별 하중 분포와 노면 반력이 달라져 제동계에 더 큰 하중이 작용할 수 있다. 이에 따라 본 연구에서는 시험용 등판로 경사로 조건과 차량 제원, 타이어-노면 마찰 특성, 전후 하중 분배 조건을 반영하여 전륜과 후륜의 제동 토크를 산정하였다. 또한 디스크, 패드, 피스톤, 캘리퍼, 슬라이드 핀, 마운팅 브라켓 등으로 구성된 브레이크 모듈에 대해 강체 다물체 동역학 해석 모델을 구축하고, 접촉 조건 및 조인트 조건을 반영하여 부동식 캘리퍼의 작동 메커니즘과 하중 전달 거동을 모사하였다. 전륜과 후륜의 최대 부하 조건에 대해 서로 다른 마찰계수 조건을 적용하여 피스톤 하중 변화를 해석한 결과, 마찰계수가 증가할수록 동일 제동토크를 구현하기 위한 피스톤 필요 하중은 감소하는 경향을 보였으며, 전륜 조건에서 요구되는 하중과 유압 수준이 후륜보다 상대적으로 크게 나타났다. 이를 통해 전륜 하중 조건을 브레이크 시스템의 설계 조건으로 정의하였으며, 유압 모듈 및 캘리퍼 구조는 이러한 최대 부하 조건을 기준으로 검토될 필요가 있음을 확인하였다. 또한 실제 운용 환경에서는 마찰계수 저하, 온도 상승, 마모 등 다양한 외란 요인이 제동 성능에 영향을 미칠 수 있으므로, 설계 시 이를 고려한 피스톤의 여유 압력 마진 확보가 필요할 것으로 고찰된다.

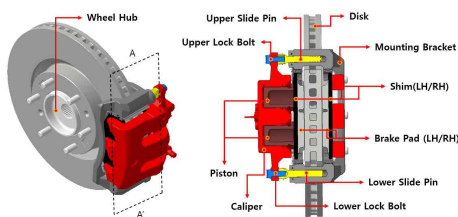


Fig. 1 Disk Brake Section View

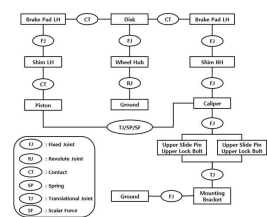


Fig. 2 Dynamics Model Diagram

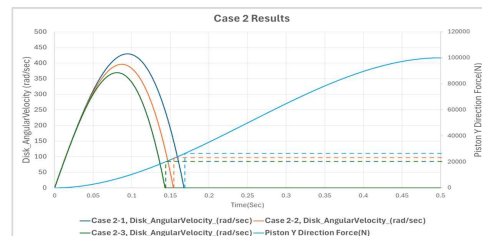
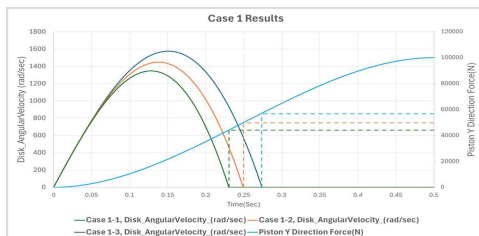


Fig. 3 Results

이 연구는 2025년도 산업통상자원부 및 한국산업기술진흥원 연구비 지원에 의한 연구임(RS-2025-02318164)