

멀티모드 하이브리드 시스템의 일반화 기법 적용을 통한 해석 및 시뮬레이션

강 지 훈¹⁾ · 최 찬 규¹⁾ · 김 현 중¹⁾ · 이 희 윤^{*1)}

단국대학교 기계공학과¹⁾

Analysis and Simulation of Multi-Mode Hybrid Systems Based on a Generalization Method

Jihoon Kang¹⁾ · Chankyu Choe¹⁾ · Hyeonjoong Kim¹⁾ · Heeyun Lee^{*1)}

Dankook University¹⁾

Key words : Lever Diagram(레버 다이어그램), Multi-mode Hybrid Electric Vehicle(멀티모드 하이브리드 자동차), Pareto Frontier Line(파레토 경계선)

* 교신저자, E-mail: heeyunlee@dankook.ac.kr

최근 전동화 파워트레인은 연비 향상과 주행 성능을 동시에 만족하기 위해 다중 운전 모드와 복수의 동력원을 활용하는 멀티모드 하이브리드 시스템 구조로 빠르게 발전하고 있다. 특히 BYD DM-i, BYD DM-p, Geely Grand Koleos와 같은 최신 하이브리드 시스템은 모터 직접 구동, 직병렬 구동, 엔진 직접 구동, 회생 제동 및 차축 간 동력 분배를 포함하는 복합적인 에너지 흐름을 가지므로, 이를 일관된 방식으로 해석·제어할 수 있는 모델 기반 통합 분석 체계가 요구된다.

본 연구에서는 상기 세 차량을 대상으로 멀티모드 하이브리드 시스템의 해석을 위한 후 방향 차량 시스템(Backward Looking Vehicle Simulation Model) 기반의 통합 분석 체계를 제안한다. 각 운전 모드 별 동력전달 구조를 레버 다이어그램(Lever Diagram)으로 표현하고, 이를 이용하여 휠 요구 토크 및 속도로부터 엔진과 모터의 속도 및 토크를 역산하는 기구학적/동역학적 관계식을 정립한다. 또한, 각 모드에서 가능한 작동점 집합을 구성한 뒤, 배터리 전력과 연료소모량을 동시에 고려한 파레토 경계선(Pareto Frontier Line)을 도출함으로써 각 모드 내부의 비 지배 해를 추출하고, 이를 바탕으로 모드 간 최적 작동점 비교가 가능한 기반을 마련한다.

제안된 해석 프로세스는 복잡한 멀티모드 하이브리드 시스템의 구동 특성을 체계적으로 비교·분석할 수 있을 뿐 아니라, 향후 동적 계획법(Dynamic Programming), 강화학습(Reinforcement Learning) 기반의 에너지 관리전략 및 최적 제어 전략 설계를 위한 기초 모델로 활용될 수 있다. 본 연구는 차종별 상이한 파워트레인 구조를 통합적으로 해석하면서도, 연비와 전력 사용 간의 trade-off를 정량적 평가할 수 있는 방법론을 제시한다.