

병렬·분산 컴퓨팅 기반 멀티모드 하이브리드 차량의 파워트레인 용량 설계

파라미터 최적화

김민규¹⁾·유현석¹⁾·연제휘¹⁾·김동언¹⁾·곽명진¹⁾·김남욱^{*1)}

한양대학교 기계공학과 – BK21 4단계 ERICA-ACE 센터¹⁾

Optimization of Powertrain Sizing Parameters for Multi-mode Hybrid Vehicles

Based on Parallel and Distributed Computing

Mingyu Kim¹⁾ · Hyunseok Yu¹⁾ · Jehwi Yeon¹⁾ · Dongeon Kim¹⁾ · Myeongjin Kwak¹⁾ · Namwook Kim^{*1)}

Department of Mechanical Engineering and BK21 FOUR ERICA-ACE Center, Hanyang University¹⁾

Key words : Multi-mode Hybrid System(멀티모드 하이브리드 시스템), Dynamic Programming(동적 계획법), Powertrain Sizing(파워트레인 용량 설계), Optimal Control(최적제어), Simulation-based analysis(시뮬레이션 기반 해석), Parallel and Distributed Computing(병렬·분산 컴퓨팅)

교신저자, E-mail: nwkim@hanyang.ac.kr

** 이 연구는 2026년도 산업통상자원부 및 산업기술평가관리원(KEIT) 연구비 지원에 의한 연구임(과제번호 RS-2024-00430934)

최근 인도 및 남미와 같은 신흥 시장(Emerging Markets)에서는 순수 전기차의 높은 도입 비용과 부족한 충전 인프라가 실질적인 구매 장벽으로 작용하고 있다. 이러한 환경적 제약 속에서 하이브리드 자동차(HEV)는 주행거리 불안을 해소하면서도 내연기관의 전동화를 실현할 수 있는 가장 현실적이고 실효적인 대안으로 주목받고 있다. 특히 신흥 시장의 소비자 요구사항에 부합하기 위해, 구조적 효율성과 원가 경쟁력을 동시에 확보한 P1·P3 모터 기반의 멀티모드 시스템과 2단 변속기를 결합한 파워트레인 개발이 활발히 진행 중이다. 해당 시스템은 최적의 기어비를 통해 엔진과 모터의 운전점을 효율적으로 관리함으로써, 소형차 세그먼트에서 요구되는 고연비와 동력 성능을 동시에 만족시킨다.

새로운 멀티모드 파워트레인 구조를 개발함에 있어 초기 설계단계에서 목표 연비를 달성하기 위해서는 엔진 모터 배터리 등 연비 관련 주요 부품의 용량 파라미터의 설계가 필요하다. 따라서 DP(Dynamic Programming)기법을 적용한 준정적 상태에서의 후방향 시뮬레이션 해석을 통해 멀티모드 하이브리드 차량에 대한 최대 연비를 평가하면서 파워트레인 요소의 용량 파라미터를 선정하고자 한다. 하지만 DP기법은 전역 최적해를 보장함에도 불구하고 상태변수와 제어입력의 모든 조합을 계산하는 특성상 막대한 연산 시간이 소요되는 문제점이 있다.

이를 해결하기 위해 본 연구에서는 병렬 및 분산 컴퓨팅 기술을 적용하여 초기 개발 단계에서의 파워트레인 용량 선정 프로세스를 가속화하였다. 레버 다이내믹스 기반의 파워트레인 일반화 기법을 적용하여 멀티모드 변속기의 전기주행(EV Mode), 직렬·병렬 모드(Series·Parallel Mode)를 준정적 상태에서 모델링하였으며, 다이내믹 프로그래밍(DP)을 통해 해당 하이브리드 시스템의 전역 최대 연비를 산출하였다. 특히 Host-Node-Worker 아키텍처 기반의 클러스터 컴퓨팅 환경을 구축하여, 방대한 용량 파라미터 조합에 대한 연산 부하를 다수의 워커(Worker)에 분산 배치하고 병렬적으로 처리함으로써 전체 용량 설계 프로세스의 소요시간을 효과적으로 단축하였다.