

플러그인 하이브리드 자동차(PHEV) 제어 전략에 따른 연비 영향 분석

성 혜 인¹⁾ · 김 원 준¹⁾ · 류 한 준¹⁾ · 민 병 순²⁾ · 양 리 위 에²⁾ · 김 남 욱^{*1)}

한양대학교 기계공학과 – BK21 4단계 ERICA-ACE 센터¹⁾ · 테너지²⁾.

Impact of Control Strategies on Fuel Economy in Plug-in Hybrid Vehicle (Power Following vs. Load Leveling)

Hyein Sung¹⁾ · Wonjun Kim¹⁾ · Hanjun Ryu¹⁾ · Byungsoon Min²⁾ · Liyue Yang²⁾ · Namwook Kim^{*1)}

Department of Mechanical Engineering and BK21 FOUR ERICA-ACE Center, Hanyang University¹⁾ · Temergy²⁾

Key words : Power following(파워 팔로잉), Load leveling(로드 레벨링), Plug-in hybrid electric vehicle(플러그인 하이브리드 자동차), Control strategy(제어 전략), Series-parallel hybrid system(시리즈-패러렐 하이브리드 시스템), Fuel efficiency(연비)

교신저자, E-mail: nwkim@hanyang.ac.kr

**이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(RS-2024-00353106).

최근 자동차 시장에서 하이브리드(HEV) 및 플러그인 하이브리드(PHEV) 자동차의 수요가 급증하고 있다. 이는 내연기관의 동력 성능과 전기 모터의 높은 효율 및 회생제동 기능을 결합하여 기존 내연기관차 대비 연비를 획기적으로 개선하고, 순수 전기차의 주행거리 한계를 극복했기 때문이다. 특히 PHEV는 외부 전력 충전, 엔진을 이용한 자체 발전, 그리고 엔진 직접 구동이 모두 가능하여 운용 유연성이 뛰어나다. 이러한 복합적인 동력 시스템을 더 멀리, 더 효율적으로 운용하기 위해서는 엔진과 모터의 동력 분배 및 에너지 관리를 담당하는 최상위 제어기의 역할이 절대적이며, 제어 전략이 시스템의 성능을 결정한다.

하이브리드 차량에서는 요구 동력에 대한 엔진과 모터의 동력 분배를 결정짓는 두 가지 주요 제어 전략, 'Load(Torque) Leveling'과 'Load(Power) Following'이 있다. 이 두 전략은 배터리 에너지의 한계를 고려하여 배터리 관리 전략을 추가적으로 포함한다. 먼저, Load Leveling은 병렬형 하이브리드에서 주로 사용되는 제어 전략으로 엔진의 작동점을 최적 효율점에서 구동할 수 있도록 엔진의 토크를 제어하며, 모터가 요구 동력에서 엔진 동력의 차이만큼 보조하거나 남는 만큼 배터리를 충전하는 전략이다. 이는 배터리를 적극적으로 활용하는 전략이며 배터리 충방전 효율과 관련된 'Round-trip loss' 영향도가 크다는 특징이 있다. 반면, Load Following은 직렬형 또는 동력분기형 하이브리드에서 주로 채택되며, 엔진이 요구 부하를 적극적으로 추종하여 동력 변환 손실을 최소화하는 방식이다. 이 전략은 엔진의 기계 에너지를 배터리의 전기에너지로 변환하는 손실을 최소화하고, SOC를 일정 수준으로 유지하며 배터리를 관리한다. 즉, Load Following 전략은 배터리 관리 전략에 따라 배터리의 충방전을 최소화하고, 엔진은 요구 동력에 따라 소극적으로 제어된다. 이 과정에서 발생하는 'transfer loss'는 연비에 영향을 미친다.

각 제어 전략은 차량 시스템의 구조와 특성에 맞게 적절히 채택된다. 본 연구에서는 직렬형과 병렬형 구동을 모두 지원하는 멀티모드(Multi-mode) PHEV를 대상으로, 두 대표적인 하이브리드 제어 전략인 'Load(Torque) Leveling'과 'Load(Power) Following'을 비교 분석하였다. 이를 통해 각 전략이 차량의 에너지 효율에 미치는 영향을 비교하고, 구동 환경에 따라 발생하는 에너지 손실 특성과 최종적으로 차량의 종합 연비 차이를 심층적으로 고찰하고자 한다.