

EV-like 특성을 반영한 최적제어 기반 EREV 주행 전략 연구

이 인 찬¹⁾ · 성 혜 인¹⁾ · 홍 성 탁¹⁾ · 김 원 준¹⁾ · 김 찬¹⁾ · 주 성 연¹⁾ ·

전 유 광²⁾ · 김 원 기²⁾ · 신 석 진²⁾ · 김 기 배²⁾ · 김 남 옥^{*1)}

한양대학교 기계설계공학과 – BK21 4단계 ERICA-ACE 센터¹⁾

현대자동차 남양연구소, 전동화성능컨셉개발팀²⁾

A Study on Optimal Control-based Driving Strategies for EREVs Reflecting EV-like Characteristics

Inchan Lee¹⁾ · Hyein Sung¹⁾ · Sungtak Hong¹⁾ · Wonjun Kim¹⁾ · Chan Kim¹⁾ · Sungyeon Ju¹⁾

Youkwang Jun²⁾ · Wonki Kim²⁾ · Seokjin Shin²⁾ · Gibae Kim²⁾ · Namwook Kim^{*1)}

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

Electrification Functional Concept Development Team, Hyundai-Kia Motor Company²⁾

Key words : Extended-Range Electric Vehicle, EREV(주행거리 연장형 전기자동차), Equivalent Consumption Minimization Strategy, ECMS(등가 연료 소모 최소화 전략), Optimal Control(최적 제어), EV-like Drivability(EV-like 주행성), Simulation-based analysis(시뮬레이션 기반 해석)

교신저자, E-mail: nwkim@hanyang.ac.kr

“이 연구는 2026년도 산업통상자원부 및 산업기술평가관리원(KEIT)연구비 지원에 의한 연구임(과제번호 RS-2024-00421310)”

최근 자동차 산업의 전동화 과정에서 전기차(EV)의 주행거리 한계를 극복하기 위한 대안으로 주행거리 연장형 전기자동차(Extended-Range Electric Vehicle, EREV)가 크게 주목받고 있다. 이에 따라 다양한 최적제어 이론을 바탕으로 차량의 연비를 극대화하려는 연구가 활발히 진행 중이나, 이론적 최적 작동점을 실제 차량에 그대로 적용하는 데에는 현실적인 한계가 존재한다. 특히 발전기 용도로만 엔진을 사용하는 EREV는 단순한 연비 수치뿐만 아니라 운전자가 체감하는 주행 감성과 정숙성(NVH)이 차량의 상품성을 결정하는 핵심 요소이다. 만약 연비 최적화만을 고려하여 엔진을 구동할 경우, 저속 주행 영역에서도 배터리 충전을 위해 엔진이 고속으로 회전하여 심한 이질감을 유발할 수 있다. 또한, 엔진 구동 시간이 길어질 경우 EREV 고유의 정숙한 주행 감성(EV-like)이 근본적으로 저해되어 운전자에게는 일반적인 하이브리드 자동차(HEV)에 더 가깝게 느껴지는 문제가 발생한다.

이러한 한계를 극복하기 위해, 본 연구에서는 대표적인 실시간 에너지 관리 기법인 등가 연료 소모 최소화 전략(Equivalent Consumption Minimization Strategy, ECMS)을 개선하였다. 기존의 목적함수가 연료와 전력 소모량 최소화에만 집중했다면, 본 연구에서는 운전자의 이질감을 유발하는 주요 인자인 ‘엔진 속도 페널티’ 및 ‘엔진 작동 페널티’ 항을 새롭게 추가하였다. 이렇게 수정된 목적함수를 통해 도출된 최적해를 EREV 전방향 시뮬레이션(Forward-facing Simulation) 모델의 제어기에 적용함으로써, 운전자의 이질감을 최소화하는 EV-like 주행을 유도함과 동시에 최적의 연비를 만족시키는 통합 제어 기법을 구현하였다.

결과적으로 본 연구에서는 제어 목적함수 내 페널티 구성에 따른 총 세 가지 전략(기본 최적제어, 엔진 작동 페널티 제어, 엔진 속도 페널티 제어)을 비교 분석한다. 각 제어 전략이 달성하는 EV-like의 구현 정도, 즉, 엔진 작동 시간 감소량 및 엔진 평균 속도 감소량을 정량적으로 도출하고, 이것이 기존 기본 ECMS 기반의 최적 연비 결과에 미치는 영향도(Trade-off)를 확인하였다. 본 연구의 결과는 향후 최적제어 이론에 기반한 하이브리드 및 EREV 차량의 연비 최적화 연구에 있어, 연비 개선과 주행 감성 향상이라는 상충하는 두 목표 사이의 최적 타협점을 도출하기 위한 실용적인 가이드라인을 제시할 수 있을 것으로 기대된다.