

폰트리아긴 최소 원리를 기반으로 한 플러그인 하이브리드 차량의 적응

형 에너지 관리 전략

이 웅^{*1)} · 정 해 성¹⁾ · 박 도 현¹⁾ · 김 남 욱^{**1)}

한양대학교 기계공학과¹⁾

Adaptive Energy Management Strategy for Plug-in Hybrid Vehicle Based On Pontryagin's Minimum Principle

Woong Lee¹⁾ · Haeseong Jeoung¹⁾ · Dohyun Park¹⁾ · Namwook Kim^{*1)}

Hanyang University¹⁾

Key words : Adaptive Energy Management Strategy(적응형 제어전략), Pontryagin's Minimum Principle(폰트리아긴 최소 원리), Plug-in Hybrid Vehicle(플러그인 하이브리드 자동차), Optimal Control(최적 제어), Equivalent Consumption Minimization Strategy(등가 연료소모 최소화 전략)

* 발표자: 이 웅, woonglee33@gmail.com

* 교신저자: 김남욱, nwkim21@gmail.com

“본 연구는 한국자동차공학회 자동차 기술 및 정책개발 로드맵 개발 과제의 지원을 받아서 수행되었습니다.”

각종 환경문제 및 이산화탄소 배출 문제 등을 해결하기 위한 방안으로 친환경자동차에 대한 관심이 높아지고 있다. 친환경자동차는 대표적으로 전기차, 하이브리드 전기차, 플러그인 하이브리드 전기차 등이 있으며 그 중 플러그인 하이브리드 전기차와 하이브리드 전기차는 엔진과 모터 각각 두개의 동력원을 갖는다. 하이브리드 전기차는 두개의 동력원을 활용하여 각각 동력원의 동력분배 방식에 따라 주행 중 소모되는 에너지를 최소화할 수 있으며, 다양한 연구기관에서 동력분배 제어전략에 대한 연구를 활발히 진행 중이다. 올해 초, IEEE Vehicular Technology Society(IEEE VTS)에서 GM Volt1 차량의 주행 에너지 소모량을 최소화하는 동력분배 제어전략을 개발하는 대회를 개최하였다. 본 대회에는 20개국, 92개의 연구기관에서 52개의 팀을 구성해 참가하였으며, 실제차량에 적용할 수 있는 제어전략 개발을 목표로 하여 참가자들은 주행정보를 모르는 상황속에서 차량의 정보만을 활용해 에너지 소모량을 최소화해야 한다. 본 저자는 이러한 문제를 해결하기 위해 폰트리아긴 최소 원리를 기반으로하는 적응형 에너지 관리전략을 개발하였으며, IEEE VTS Challenge 2018에서 우승을 차지했다.

폰트리아긴 최소 원리는 최적제어 이론 중 하나로, 최소화하고자 하는 것을 목적함수로 정의하고 시스템의 상태방정식을 라그랑주 계수를 사용하여 하나의 식으로 결합 후 이를 최소화하는 이론이다. 본 논문에서는 연료소모량을 목적함수로 정의하고 차량 배터리의 SOC에 대한 상태 방정식을 활용하여 다음과 같은 해밀토니안 식을 도출하였다.

$$\min J = \int_{t_0}^{t_f} [\dot{m}_{fc}(P_{bat}) + \lambda \cdot \dot{SOC}(P_{bat})] dt \quad (1)$$

위 식에서 $\dot{m}_{fc}$ 는 연료소모량, $\dot{SOC}$ 은 소모되는 전기에너지를 나타내고 λ 는 연료소모량과 전기에너지를 등가화 하는 등가상수이다. 본 논문에서는 차량 배터리의 SOC를 실시간으로 관찰하여 SOC에 따라 등가상수를 결정하는 적응형 제어전략을 개발하였으며, 개발된 적응형 제어전략은 미래 주행정보를 필요로 하지 않아 본 제어전략이 보다 더 고도화된다면 실제 차량에 적용할 수 있는 여지가 있다.