

배터리와 슈퍼 캐패시터를 가지는 직렬형 하이브리드 차량의 전력 제어 방법 비교

김종철, 이성준, 조보형
서울대학교 전기컴퓨터공학부

Comparison of Control Strategies in Series Hybrid Electric Vehicles with Batteries and Supercapacitors

J. C. Kim, S. J. Lee, and B. H. Cho

School of Electrical Engineering and Computer Science Seoul National University

ABSTRACT

하이브리드 자동차는 주 에너지원 외에 보조 에너지 저장 장치를 가지게 되는데 배터리와 슈퍼 캐패시터를 혼합하여 사용할 경우 주행 성능이 향상된다. 하지만 배터리의 경우 잦은 충방전이 일어날 경우 수명이 감소되고, 큰 전류에 의해 손상된다는 단점이 있다. 반면 슈퍼 캐패시터는 충방전 횟수가 많고, 수명이 길다는 장점이 있다. 따라서 배터리의 사용을 최소화 하고, 슈퍼 캐패시터를 주로 사용하여 제어 할 경우, 배터리의 수명 향상을 기대할 수 있다.

1. 서론

최근 각종 군용 무기들이 전자화 되고, 특수한 수행 능력(스텔스 주행 등)이 요구되면서, 군용 차량이 점점 하이브리드화 되어가고 있다. 하이브리드 자동차는 한 가지 이상의 동력원으로 운행되는 자동차로서, 군용 차량의 경우 주행 성능이 중요하기 때문 엔진 등의 주 에너지원 외에 배터리, 슈퍼 캐패시터와 같은 보조 에너지 저장 장치를 추가적으로 가지는 구조에 대한 연구가 시도되고 있다.^[1]

하지만 이 중 배터리는 잦은 충방전이 일어날 경우 수명이 짧아지고, 순간적으로 큰 전류가 흐를 때 손상이 가해진다는 단점이 있다. 반면 슈퍼 캐패시터는 배터리에 비해 가용 충방전 횟수가 많고, 수명이 길다는 장점이 있다. 따라서 엔진과 슈퍼 캐패시터 위주로 차량을 운행하면서, 배터리의 사용을 최소화 하는 것이 배터리의 수명을 향상시키는 방안이 될 것이다.^[2]

본 논문에서는 슈퍼 캐패시터와 배터리를 보조 저장 장치로 가지는 직렬형 하이브리드 차량에서, 배터리의 사용을 최소화 하는 경우와 배터리를 상시 사용하는 제어 방식을 비교해 보고, 시뮬레이션을 통해 이들의 성능을 검증해 보도록 한다.

2. 시스템 구조

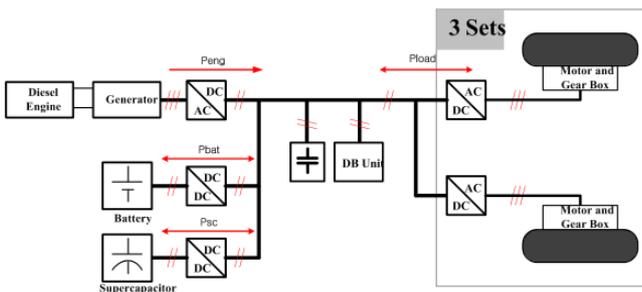


그림 1 6x6 직렬형 하이브리드 차량 시스템의 구조

본 논문에서는 엔진을 주 에너지원으로 하고 배터리와 슈퍼 캐패시터를 보조 에너지 저장 장치로 가지는 6x6 직렬형 하이브리드 구조에 대한 전력 제어 방법을 다룬다. 엔진은 발전기를 통해 DC Link 단에 연결되어 있고, 배터리와 슈퍼 캐패시터는 각 양방향 컨버터를 통해 연결되어 있다. DC/DC 컨버터를 이용하여 보조 에너지 저장 장치를 DC Link 단에 연결함으로써, 이들의 전압 운용 범위를 확장할 수 있고, 전력 및 전압 제어가 용이하다는 장점을 가지게 된다. 또한 양방향 컨버터의 사용으로 양방향 전력 이동이 가능하기 때문에 감속 시 발생하는 회생 제동 에너지를 보조 에너지 저장 장치로 회수할 수 있어, 차량의 연비가 향상된다는 장점을 가진다. 그림 1은 6x6 직렬형 하이브리드 차량 시스템의 구조를 나타낸 그림이다.

3. 시스템 제어 전략 비교

엔진은 부하 전력인 Pload 와 함께 차량의 보조 전력, 배터리의 SOC를 일정하게 유지시키기 위한 전력을 공급하도록 제어한다. 이 때 엔진 출력은 다이내믹 특성을 고려해 저주파 필터(Low Pass Filter)를 통과한 성분을 가진다. 그림 2는 배터리 SOC 제어와 다이내믹 특성을 고려한 엔진 출력을 결정하는 방법을 나타낸 그림이다.

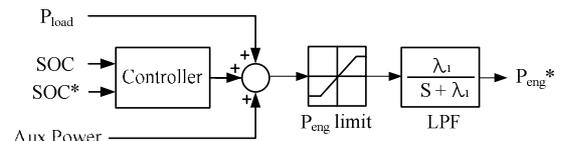


그림 2 엔진의 출력 지령치 결정 방법

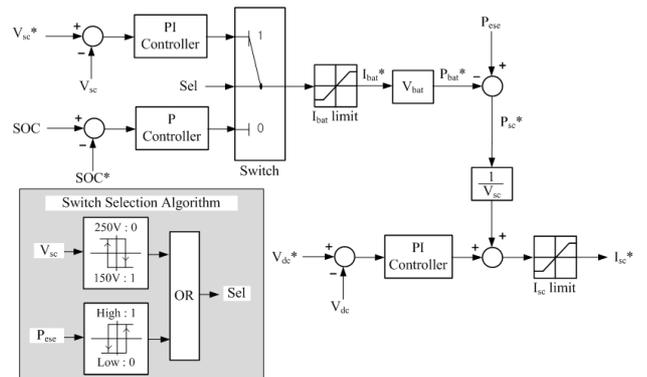


그림 3 Method 2의 제어 방식

부하에서 요구하는 전력은 주 에너지원인 엔진과 보조 에너지원인 배터리/슈퍼 캐패시터에 의해 제공되고, 이들의 전력을 어떻게 분배하느냐에 따라 차량의 주행 성능 및 연비(시스템 효율)가 다르게 나타난다.

그림 3은 배터리를 최소한으로 사용하는 Method 2 제어 방식을 나타낸 그림이다. Method 2 방식은 스위치가 0 위치에서 배터리의 SOC를 일정히 제어하다가, 슈퍼 캐패시터의 전압이 하한값(이 경우는 150V)으로 떨어지거나, 보조 에너지 저장 장치가 처리해야 할 전력 Pese 값이 큰 경우에만 배터리로부터 전력을 끌어오게 된다. 배터리를 항상 사용하는 Method 1 제어 방식은 스위치의 위치가 항상 1에 놓이게 된다.

4. 시뮬레이션 결과

그림 4는 본 차량의 성능을 검증하기 위해서 제작된 주행 사이클과 부하에서 요구하는 전력량 및 엔진의 공급 전력량을 나타낸 그림이다. 부하에서 요구하는 거의 대부분의 전력은 엔진을 통해서 공급되고 보조 에너지 저장 장치를 통해 전력 부족분이 공급되거나, 회생 제동 에너지가 회수되고 있다.

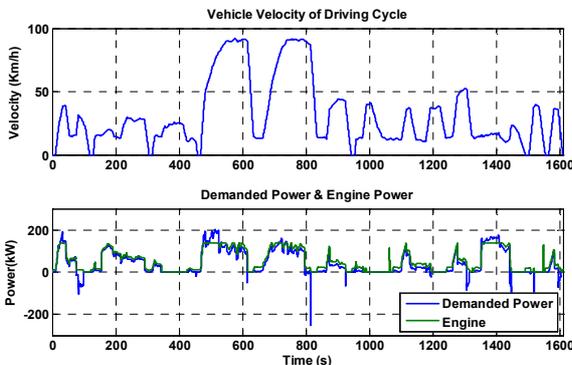


그림 4 주행 사이클 및 부하/엔진 전력

슈퍼 캐패시터와 배터리를 상시 사용하는 Method 1의 제어 방식을 이용하여 시뮬레이션 했을 때 나타나는 파형은 그림 5와 같다. 전력이 배터리와 슈퍼 캐패시터 사이에서 분배되고 있다. 또한 DC Link의 전압을 슈퍼 캐패시터가 620V 로 일정하게 제어하고 있고, 배터리가 슈퍼 캐패시터의 전압을 250V 근처에서 제어하고 있다.

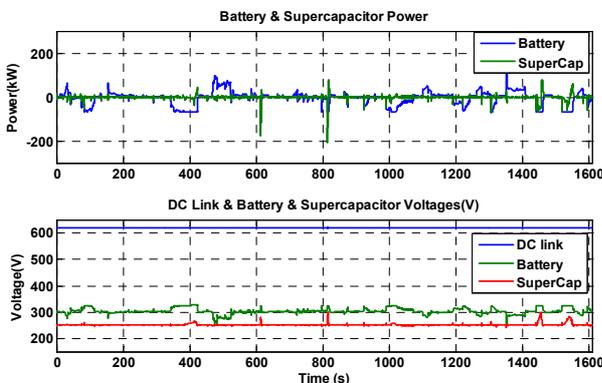


그림 5 Method 1 제어 방법 적용 시 시뮬레이션 결과

배터리의 사용을 최소한으로 하는 Method 2의 제어 방식을 이용하여 시뮬레이션 했을 때 나타나는 파형은 그림 6과 같다. Method 1의 결과와 비교해보면 부하에

서 큰 전력을 요구하거나, 슈퍼 캐패시터의 전압이 하한 값에 도달한 경우를 제외하고는 배터리의 사용이 제한되고 있음을 알 수 있다. 또한 슈퍼 캐패시터의 전압이 앞의 경우보다 더 크게 변한다는 것을 확인할 수 있다.

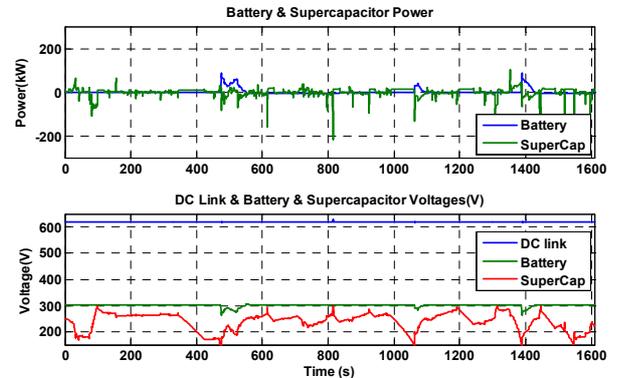


그림 6 Method 2 제어 방법 적용 시 시뮬레이션 결과

표 1은 Method 1과 2의 시뮬레이션 후, 연비와 배터리 입출력 총 에너지(배터리 입출력 전력의 적분값)를 나타낸 것이다. 배터리를 항상 사용하여 제어하는 Method 1의 경우 19% 정도 연비가 더 개선되지만, 배터리의 사용량이 Method 2에 비해 2.78배 정도 더 많다는 것을 확인할 수 있다. 즉, Method 2의 제어 방식을 적용할 경우, 연비는 감소하지만, 배터리를 더 오래 사용할 수 있다는 장점이 있다.

표 1 Method1 과 Method2의 연비 및 배터리 사용량 비교

	Method 1	Method 2
연비 (km/l)	2.413	2.026
배터리 입출력 총 에너지 (kWh)	8.028	2.890

5. 결론

본 논문에서는 배터리와 슈퍼 캐패시터를 보조 에너지 저장 장치로 가지는 6x6 직렬형 하이브리드 차량의 제어 방식을 살펴봤다. 시뮬레이션을 통해 배터리를 항상 사용하는 Method 1 제어 방식보다 배터리의 사용을 최소로 하는 제어 방식 Method 2가 연비는 적게 나오지만, 배터리를 덜 사용함으로써 배터리의 수명 향상을 기대할 수 있다는 장점이 있다.

이 논문은 (주)삼성 테크윈의 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

참고 문헌

- [1] Y. Gao and M. Ehsani, "Parametric Design of the Traction Motor and Energy Storage for Series Hybrid Off-Road and Military Vehicles", IEEE Transactions on Power Electronics. Vol.21, No.3 May 2006
- [2] Erik Schaltz, Alireza Khaligh, Peter Omand Rasmussen, "Influence of Battery/Ultracapacitor Energy-Storage Sizing on Battery Lifetime in a Fuel Cell Hbrid Electric Vehicle", IEEE Transactions on Vehicular Technology. Vol.58, No.8, October 2009