

42V 마일드 하이브리드 자동차용 에너지 관리장치 개발에 관한 연구

이백행*, 신동현*, 송현식*, 김병우*, 김희준**
 자동차부품연구원*, 한양대학교**

Development of Energy Management System for 42V Mild-Hybrid Vehicle

Baek-Haeng Lee*, Dong-Hyun Shin*, Hyun-Sik Song, Byeong-Woo Kim*, Hee-Jun Kim**
 Korea Automotive Technology Institute*, Hanyang University**

Abstract - 환경 친화적인 자동차, 안전한 자동차, 편리하고 편안한 자동차 등에 대한 다양한 요구에 효과적으로 대응하기 위해 기존의 기계/유압식 자동차 부품들을 전기장치로 대체하기 위한 연구가 꾸준히 진행되고 있으며, 특히 반도체 기술의 발전에 의한 가격경쟁력 강화에 힘입어 신규부품 개발 분야를 중심으로 자동차 부품의 전기/전자화가 급격히 진행되고 있다. 이에 따라 자동차에서 사용되는 전기에너지의 소요도 지속적으로 증가하여 새로운 차량용 전원체계에 대한 연구, 개발의 필요성이 대두되었고, 1990년대 중반 미국의 MIT/Industry Consortium 등을 중심으로 선행연구가 진행되어 자동차용 42V 전원체계가 새로운 대안으로 제시되었으며, 아울러 연비개선을 위한 마일드 하이브리드 기능의 채용이 검토되었다. 본 논문에서는 42V 전원체계 및 마일드 하이브리드 시스템 성능 구현에 핵심적인 역할을 하는 에너지 저장시스템에 관해 소개하고, 마일드 하이브리드 운용에 적합한 에너지 관리장치 개발에 대해 간략히 소개하고자 한다.

1. 서 론

최근 크게 증가한 자동차 대수로 인해 환경오염에 대한 관심이 날로 증가하고 있으며, 선진국과 더불어 개도국의 폭발적인 자동차 수요의 증가, 특히 거대 인구가 포진한 중국, 인도, 러시아, 브라질 등의 성장으로 자동차 시장은 2000년대에 들어 폭발적으로 증가하고 있다. 이러한 자동차의 양적 증가에 따라 세계 각국에서는 환경 및 대기오염 문제를 해결하기 위하여 유해배출 가스의 규제를 한층 강화하고 있다. 또한 주 에너지원인 석유 자원이 점점 고갈되는 가운데 매장지역의 불안정한 정치 상황 등으로 인해 공급이 중단될지도 모른다는 우려는 더욱 커져서 모든 자동차 메이커에서는 차량의 연비 향상과 대체 에너지 개발을 위해 많은 노력과 투자를 하고 있다.

이러한 노력의 일환으로 유해 배출가스를 저감하는 동시에 연비를 향상시킬 수 있는 하이브리드 전기자동차 개발이 일본 등 선진국 자동차 업체를 중심으로 활발히 진행되고 있다. 하이브리드 전기자동차는 선진 각국의 배기가스 규제에 대응할 수 있는 동시에, 적정 영역에서의 에너지 효율, 가속 성능 등 기존의 내연기관 자동차에 뒤지지 않는 성능을 확보할 수 있는 장점을 갖고 있다.

하이브리드 자동차는 두 가지 이상의 동력원을 사용하는 자동차로서 특히 기존의 엔진과 전기모터의 동력을 혼합한 구조의 자동차를 하이브리드 전기자동차라 칭하고 있으며, 차량이 일정시간 이상 정차하면 엔진을 정지시키고, 지속운행 구간에서는 저장장치에 저장된 전기에너지를 사용하여 주행하고, 가속 시에는 전기모터의 구동력의 보조로 일반 자동차와 동등 또는 그 이상의 동력성을 발휘할 수 있으며, 제동 시에는 열로 발생되어 버려지던 차량의 운동에너지를 전기에너지로 회수하고, 운전 중에 엔진을 상대적으로 효율이 높은 영역에서 동작시켜 연비 개선을 가져올 수 있는 새로운 형태의 자동차이다.

하이브리드 자동차는 전기에너지가 차량의 구동에 기여하는 정도 및 시스템 전압 등에 따라 Mild, Soft, Hard(또는 Strong) Hybrid System 등으로 구분하기도 하며, 특히 시스템 전압으로 42V를 채용하여 차량이 일정시간 이상 정차하면 엔진을 정지시키고 출발 시 즉시 다시 기동시키는 Idle-stop/start 기능 및 제동 시 버려지는 운동에너지를 전기에너지로 회수하는 회생제동(Regenerative Braking) 등의 기능을 수행하는 시스템을 42V 마일드 하이브리드 시스템이라고 부르기도 한다.

자동차용 전원 시스템으로 42V를 채용하는 경우는 구동 전력(Propulsion Power)뿐만 아니라 차량 내 각종 편의장치를 포함하는 전장(전기/전자장치) 부품에도 에너지를 공급하게 되며, 특히 차량에서 사용되는 다양한 전기/전자 장치의 도입의 증가에 따른 차량 소요 전력의 증가로 42V 전원체계에 대한 논의가 이루어지고 있다.

나아가 42V 전원체계는 하이브리드 자동차뿐만 아니라 기존의 내연기관 자동차에 적용되고 있는 14V 전원체계를 대체하는 대안으로도 검토되고 있다. 이와 같은 새로운 차량 전원 시스템이 본격적으로 시장에 도입되게 되면 충분한 공급전원을 기반으로 하여 현재 약 25%~30%에 달하는 차량부품의 전장화가 더욱 가속화되는 상승효과(Synergy Effect)를 나타내게 될 것으로 기대되며, 자동차에 사용되는 전기 에너지의 양이 기존에 비해 3배~10배 정도 늘어나고, 아울러 일부 부하에 소요되는 전력량은 크게 증가하여 대전류 입출력이 빈번히 발생할 것으로 예상됨에 따라 이들 에너지를 효율적으로 저장하고 관리하기 위한 에너지 저장 및 관리장치의 필요성이 부각되고 있다. 따라서 본 논문에서는 42V 시스템용 에너지 저장시스템에 대해 살펴보고, 이를 효과적으로 운용하기 위한 에너지 관리장치에 대해 소

개하고자 한다.

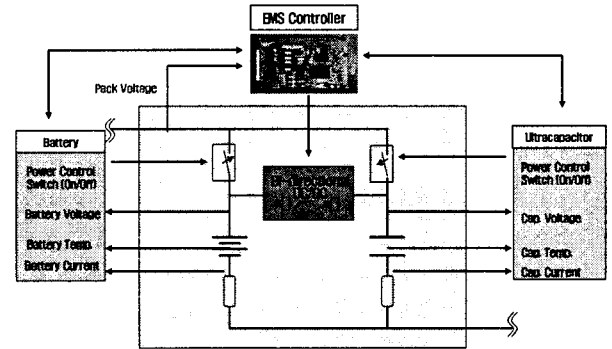
2. 본 론

2.1 42V 전원체계용 복합형 에너지 저장시스템

전기에너지를 저장하는 저장장치의 특성에서 고려해야 할 두 가지 요소로 출력과 수명을 생각할 수 있으며, 에너지 저장장치의 고유한 특성에 따라 얼마나 많은 에너지를 저장할 수는 있는가 또는 얼마나 빨리, 효과적으로 저장된 에너지를 사용할 수 있는가가 결정된다. 예를 들면, 축전지(Battery)는 에너지 입력력 과정에서 화학적인 반응(Chemical Reaction)이 수반되는 저장장치로 상대적으로 많은 에너지를 저장할 수 있으나 짧은 시간에 많은 양의 에너지를 저장하거나 인출하는데 한계가 있을 수 있다. 반면에 최근 관심이 고조되고 있는 울트라커패시터(Ultracapacitor, 이하 Ultracap.)는 에너지 입력력 과정에서 화학반응을 수반하지 않으므로 대전류 충방전이 가능하나, 에너지 밀도가 낮아 저장할 수 있는 에너지의 용량은 제한적이다.

통상 자동차에 사용되는 에너지 저장장치인 축전지는 상대적으로 높은 에너지 밀도를 가지며 많은 에너지를 저장할 수 있으나, 출력 밀도가 낮아 대전류 입출력을 필요로 하는 운전조건 하에서는 축전지의 수명을 단축시킬 가능성이 높다. 특히 현재 양산 중인 42V 시스템 차량의 에너지 저장장치로 사용되고 있는 납산축전지(Lead-acid battery)의 경우 마일드 하이브리드 기능을 구현하기 위한 Idle-stop/start나 회생제동 등의 기능을 빈번하게 광범위한 영역에서 사용할 경우 수명을 보증하는데 어려움이 있는 것으로 알려져 있다.

이러한 축전지의 단점들을 보완하기 위한 방안의 하나로 축전지에 비해 출력밀도가 약 20배 이상 큰 울트라커패시터를 이용하는 방법이 있을 수 있다. 즉, 에너지 저장능력이 큰 축전지와 높은 순시출력 특성을 갖는 울트라커패시터를 조합하여 대전류 운전에 적합한 복합형(Hybrid) 에너지 저장장치를 구성하는 방안이며, 이를 복합형 에너지 저장장치 (Hybrid Energy Pack, 이하 HEP)라고도 한다.



〈그림 1〉 42V 복합형 에너지 저장시스템

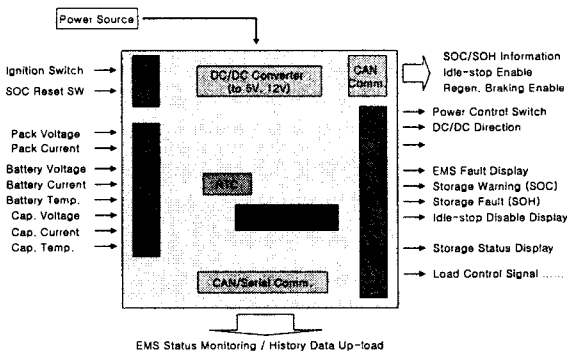
축전지와 울트라커패시터를 조합하여 운전하는 몇 가지 방법들이 소개되고 있으며, 이러한 방법 중에 하나가 그림 1과 같이 스위치를 설치하여 필요한 전력을 공급할 에너지원이 선택적으로 연결되도록 하는 것이다.

즉, 시동이나 가속 시 등 상대적으로 큰 전력이 소요되거나 회생제동 등에 의해 짧은 시간에 많은 에너지를 회수하는 경우 대전류 운전에 유리한 울트라커패시터를 연결하고, Idle-stop 상태에서 각종 편의장치 및 전장부하 등에 의해 사용되는, 상대적으로 낮은 출력에 많은 에너지를 필요로 하는 경우에는 축전지에서 에너지를 공급하도록 하는 방식이다.

2.2 에너지 관리장치 개발

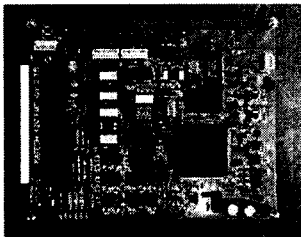
42V 전원체계에서 에너지 저장시스템은 Idle-stop 상태에서 엔진을 재시동하고, 차량의 감속 시 회생제동을 통해 에너지를 회수하며, 42V 전장부하에 전력을 공급함과 동시에 42V/12V 이종전원 체계에서 DC/DC 컨버터를 통해 12V 부하에 전력을 공급하는 등의 역할을 수행하여야 하므로, 축전지와 울트라커패시터를 이용하여 복합형 에너지 저장장치를 구성하고, 이를 적절히 활용하기 위하여 상태모니터링 및 에너지 흐름제어를 수행하는 제어장치 개발이 필수적이다.

이와 같이 에너지 저장장치의 상태를 파악하여 효과적으로 제어하는 장치를 에너지 관리장치(Energy Management System, 이하 EMS)라 하며, 에너지 관리장치는 Battery와 Ultracapacitor의 상태 파악을 담당하는 BMS (Battery Monitoring System) 및 CMS(Capacitor Monitoring System) 부분과 이 상태정보들을 기반으로 적절하게 에너지의 흐름을 제어하는 부분으로 나누어 생각할 수 있다. 저장장치의 상태를 파악하는 모니터링 부분은 충전상태 또는 잔존용량(State of Charge, 이하 SOC)을 산출하고, 수명(또는 State of Health)을 예측하는 기능을 포함하며, 에너지의 흐름을 제어하는 부분에는 차량의 운전조건에 따른 복합형 에너지 저장장치의 충전상태 제어기능과 부하에 공급되는 전력을 제어하는 기능이 포함된다. 복합형 에너지 저장장치는 사전에 정의된 SOC 범위 내에서 운용되도록 제어되며, 차량의 운전 조건에 따라 빈번한 Idle-stop/start의 발생 등으로 인해 HEP에 저장된 에너지가 많이 소모되어 SOC가 설정값 이하로 낮아진 경우, 전원공급 장치에서 더 많은 전력의 공급을 요청하고 Idle-stop이나 또는 다른 부하에서 사용되는 전력은 제한하도록 제어하는 것이 에너지 관리 장치이다.



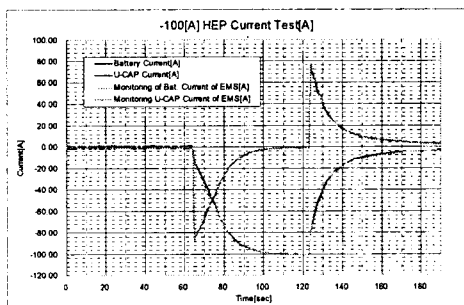
〈그림 2〉 EMS 제어기의 구성

에너지 관리장치는 HEP의 SOC를 산출하기 위하여 Battery와 Ultracap의 전압, 입·출력 전류, 그리고 온도 등의 정보를 수집하고, 이들 정보를 바탕으로 하여 잔존용량을 산출한다. 또한 HEP의 성능이 온도에 의해 영향을 받으므로 Battery와 Ultracap에 장착된 온도센서의 정보를 이용하여 HEP의 온도를 일정한 범위 내에서 제어하는 온도관리(Thermal Management) 기능도 수행한다.



〈그림 3〉 에너지 관리장치

그림2에 42V 마일드 하이브리드 차량용 에너지 관리장치의 시스템 구성도를 나타내었고, 그림3에 실제로 개발된 H/W를 보였다.

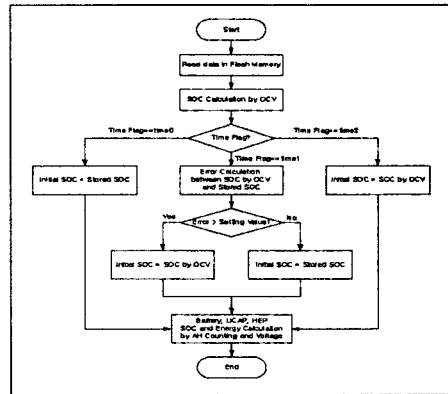


〈그림 4〉 HEP 전류 검지 시험

개발된 제어기의 검지정도 시험을 -20°C 에서 $+60^{\circ}\text{C}$ 사이의 온도 조건에서 $-250\text{A} \sim +150\text{A}$ 의 충방전 전류로 실시하였으며, 전 영역에서 최대 3% 미만의 오차를 보였다. 그림4에 전류검지 시험 파형의 예를 나타내었다.

에너지 저장 장치의 잔존 용량(State Of Charge) 산출 방법은 정확성을 높이기 위해 Open Circuit Voltage와 Ampere-hour 방법을 병행하여 사용

하였다. Open Circuit Voltage를 이용하는 경우 충분한 휴지 시간이 허용될 경우 비교적 정확하게 잔존 용량을 파악할 수 있으나 전압이 정상상태를 회복하는데 시간이 필요하다는 단점이 있다. Ampere-hour Counting 방법은 에너지 저장장치에 입·출력되는 전류를 적산하여 총 사용량을 산정하여 잔존 용량을 산출하는 방법으로 실시간 SOC 산출이 가능하나 오차가 누적되는 단점이 있다. 따라서 이 두 가지 방법을 병행하여 사용함으로써 잔존용량산출의 정확도를 높이도록 하였다.



〈그림 5〉 SOC 산출 흐름도

그림 5에 나타낸 SOC 산출 알고리즘을 적용하여 제어기를 개발하였으며, SOC 산출 정확도를 확인하기 위한 용량시험 결과 약 6.2%의 오차를 가지는 것으로 확인 되었다.

3. 결 론

42V 마일드 하이브리드 자동차용 에너지 저장장치, 특히 납산 축전지와 울트라커패시터를 조합하여 적절히 운용함으로써 성능 및 수명을 개선한 복합형 에너지 저장장치의 구성에 대해 살펴보고, 저장장치의 충전상태 등을 파악하고 이를 효율적으로 사용하기 위한 에너지 관리장치의 개발에 관해 간략히 소개하였다.

개발된 에너지 관리장치는 저장장치의 상태파악에 필요한 각종 정보들을 수집하고, 이 정보들을 근간으로 잔존용량 등을 산출하여 저장장치의 효율적인 운용을 위한 제어를 수행하도록 설계되었으며, 시험결과 양호한 성능을 확인할 수 있었다.

〔참고 문헌〕

- [1] Dell A. Crouch, Gary L. Ballard, "Batteries for 42/14 Volt Automotive Electrical Systems", SAE Technical Paper 2000-01-3065.
- [2] AABC TUTORIAL 2A VRLA Batteries
- [3] Meissner E. and Richter G., Journal of Power Sources, 95, 2001, pp. 13-23
- [4] Meissner E. and Richter G., Proceeding of the 1st International Congress on 42V PowerNet, Villach, 1999
- [5] The Proceeding of MIT/Industry Consortium on Advanced Automotive Electrical/Electronic Componets and System, San Diego, USA, 2004
- [6] The Tutorial book of Advanced Automotive Battery Conference, USA, 2004
- [7] Conway, B. E., 'Electrochemical Supercapacitors', Kluwer Academic /Plenum Publishers, New York, USA, 1999
- [8] Simpson, A., G., Sernia, P., C., and Walker, G., R., 'Simulated Life Cycle Costs of Ultracapacitors in Battery Electric Vehicles', Australian Universities Power Engineering Conference (AUPEC), 2001
- [9] D-Y Jung, Y-H Kim, and S-W Kim, 'Development of Ultracapacitor Modules for 42V Automotive Electrical Systems', Journal of Power Sources, 114, 2003, pp 366-373
- [10] A. Burke and M. Miller, 'Characteristics and Applications of Advanced Ultracapacitors', in Proceedings of the 7th International Seminar on Double Layer Capacitors and Similar Energy Storage Devies, Florida Educational Seminar, Inc, 2001
- [11] Paul Nicasri and Henry Huang, "42V PowerNet : Providing the Vehicle Electrical Power for the 21st Century", SAE 2000-01-3-50
- [12] Mehrdad Ehsani, Ali Emadi and Hongwei Gao, "42V Automotive Power Systems", SAE 2001-01-2465
- [13] Dell A. Crouch, Gary L. Ballard, "Batteries for 42/14 Volt Automotive Electrical Systems", SAE 2000-01-3065.
- [14] Kousuke Suzui, Shuichi and Takeshi Tachibana, "A Battery System for the Crown Mild Hybrid", EVS-19, 2002