

## 하이브리드 전기자동차용 배터리 ECU 개발

남종하, 최진홍, 김승중, 김재웅  
(주) 파워로직스

### Development of the Battery ECU for Hybrid Electric Vehicle

J.H. Nam, J.H. Choi, S.J. Kim, and J.W. Kim  
Powerlogics Co., Ltd.

#### ABSTRACT

The development of electric vehicle has been accelerated by the recent "California Initiative" which has required increasing proportions of new vehicle in Los Angeles area to be ZEV(Zero Emission Vehicles). But, because skill of battery is feeble, ZEV regulation was postponed but that is by CO2 restriction and environmental pollution problem the latest because do development require. In the electric vehicle and hybrid electric vehicle, the battery ECU(Battery Management System, BMS) is very important and an essential equipment. The accurate state of charge(SOC) is required for the battery for hybrid electric vehicles.

This paper proposes SOC algorithm for the HEV based on the terminal voltage. Also, designed and analyzed battery ECU to apply on HEV.

#### 1. 서론

현대 사회에서 환경문제는 매우 심각한 문제로서 중요한 관심사로 대두되어 왔다. 이 중에서 대기오염을 살펴보면 주요원인은 자동차 배기가스이며, 이러한 공해문제의 해법으로 전기자동차의 사용이 제시되었으며, 미국의 경우 캘리포니아 주정부에서 1998년부터 전기자동차 사용을 의무화하는 ZEV(Zero Emission Vehicle) 규제를 입법화하면서 개발이 본격화되었다. 전기자동차의 경우 배터리의 가격문제와 충전시간이 장시간 소요되어 개발의 초점이 하이브리드 전기자동차에 맞추어지고 있으며, 일부는 이미 상용화가 되어 있다. 하지만 에너지

밀도가 높은 배터리의 개발은 활발히 진행되고 있으나, 배터리의 합리적인 사용관리에 대해서는 일부 선진외국의 경우를 제외하고는 개발이 거의 이루어지지 않고 있다. 특히 전기자동차나 하이브리드 타입의 자동차에 매우 중요한 SOC 알고리즘에 관한 개발 또한 미흡하여 차량이 제 기능을 발휘하지 못하는 경우가 발생되고 있다.<sup>[1][2][4]</sup>

본 논문에서는 하이브리드형 전기자동차에 적용하기 위한 배터리 ECU를 설계 및 해석하였으며, 배터리의 잔존용량을 표시하기 위한 SOC 알고리즘을 개발하였다.

#### 2. 시스템의 해석

##### 2.1 하이브리드 전기자동차

하이브리드 전기자동차는 엔진을 포함한 다른 동력원과 배터리의 복수 동력원이 사용된다. 회생브레이크 동작을 통해 배터리를 충전을 하며, 이 전기를 이용하여 전기모터를 구동, 차를 움직이게 하는 자동차로서 외부 충전을 위한 별도의 충전기가 필요하지 않은 형태의 전기자동차이다.<sup>[3]</sup>

- 직렬방식(Series Type): 엔진에서 출력되는 기계적 에너지는 발전기를 통하여 전기적 에너지로 변환되고 이 에너지가 배터리나 모터로 공급되어 차량은 항상 모터로 구동되는 자동차이며, 기존의 전기자동차에 주행거리를 증대하기 위해 엔진과 발전기를 추가시킨 개념의 자동차이다.

- 병렬방식(Parallel Type): 배터리 전원으로도 차를 움직이게 할 수 있고, 엔진(가솔린 또는 디젤)만으로도 차량을 구동시키는 두 가지 동력원을 사용하는 자동차로서 주행조건에 따라 엔진과 모터가 동시에 혹은 각각이 독립적으로 동작할 수도 있다.

## 2.2 하이브리드 전기자동차의 SOC 범위

하이브리드 전기자동차의 SOC 사용범위는 완전 충전·방전을 거듭하는 전기자동차와는 달리 특정구간에서 동작된다. SOC의 상·하한 범위는 대략 20~80[%] 사이이며, Target이 되는 SOC는 약 60[%]이다.

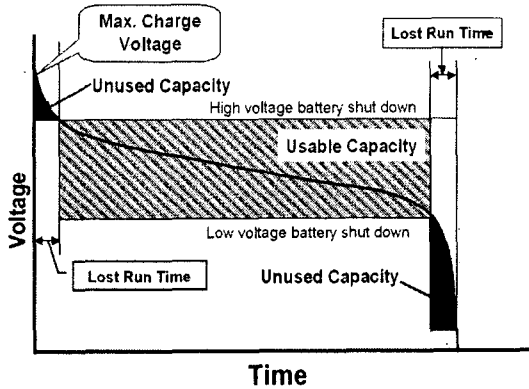


그림 1 HEV의 SOC 범위

Fig. 1 SOC range of HEV

## 2.3 니켈-수소전지의 특성분석

그림 2는 배터리의 성능에 영향을 미치는 인자들과 그들 상호간의 연관성을 나타내고 있다. 충전 방식, 방전율, 온도 등으로 인해 내부저항의 변화를 가져오며 이로 인해 배터리의 성능과 수명에 영향을 미치고 있음을 알 수 있다.

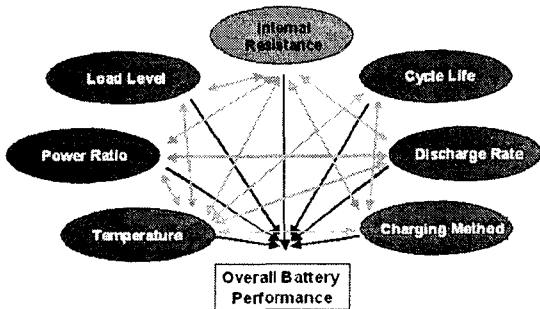


그림 2 배터리의 성능에 영향을 미치는 요소  
Fig. 2 Element that influence in performance of battery

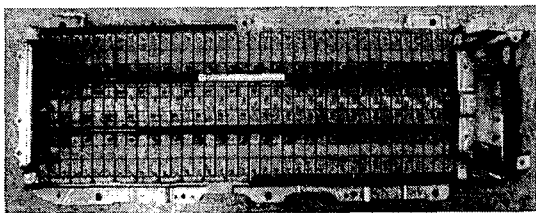


그림 3 니켈-수소전지, Panasonic, 6.5[Ah]  
Fig. 3 Ni-MH Battery, Panasonic, 6.5[Ah]

본 논문에서는 그림 3에 보이는 Panasonic사, 6.5[Ah] 용량의 HEV용 Ni-MH 배터리를 사용하여 배터리 ECU의 운영에 필요한 특성을 자체 분석하였다.

### 2.3.1 배터리의 SOC 산출

HEV에서 초기 SOC의 산출은 배터리의 개방전압(Open Circuit Voltage, OCV)을 측정하여 이루어지게 된다. 그림 4는 HEV용 Ni-MH 배터리의 SOC 산출을 위한 Boltzmann식을 구하기 위해 0.7[A]로 충전·방전을 실시한 결과를 보여주고 있다. 충전·방전시 동일 SOC에서 배터리의 내부저항만큼 개방전압의 값은 달라지게 되는데 SOC 산출을 위해 IR Drop이 발생된 충전·방전 전압의 중앙값으로 채택하였다. Boltzmann식을 통해 초기 SOC를 구하고 주행중 SOC의 표시는 전류적산법을 사용하여 나타내게 된다.

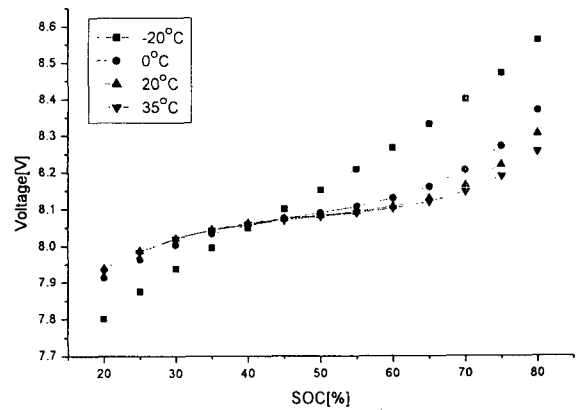


그림 4 Ni-MH 배터리의 전압-SOC 특성

Fig. 4 Open circuit voltage versus SOC

### 2.3.2 배터리의 모델링

Ni-MH 배터리의 경우 내부저항에 의한 손실 외에 전지내부의 분극작용에 의한 비선형적인 손실이 존재하게 된다. 이로 인해 배터리의 모델링시 많은 변수가 존재하게 되며, 전기적으로 정확한 모델링을 하는 것은 매우 어렵다. 본 논문에서는 실험적인 데이터를 바탕으로 배터리의 충전·방전 곡선을 수식화하여 나타내었다. 식 (1)은 초기 SOC를 산출하기 위한 Boltzmann 방정식으로서 실제 배터리의 충전·방전곡선을 이용하여 추정하게 된다.

$$SOC[\%] = V_2 + \frac{V_1 - V_2}{1 + e^{\frac{v - v_0}{dv}}} \quad (1)$$

여기서

SOC : State of Charge[%]

$V_1$  : Discharge end voltage[V]

$V_2$  : Charging end voltage[V]

$v$  : Voltage[V]

$v_0$  : Normal Voltage[V]

식에서 각각의 변수들은 제조사의 배터리 충·방전 특성곡선을 이용하거나, 실제 시험을 통해 구할 수 있다. 하지만 조건의 변화, 즉 온도나 전류의 변화에 따라 각 변수들은 다른 값을 가지게 된다. 그림 5에서  $v_0$ 의 변화에 Boltzmann 그래프의 변화 특성을 나타내었다. 온도에 따른 각 변수의 변화를 살펴보면 충전시 변수들은 증가를 하게 되고 방전시는 감소하는 특성을 보인다. 그림 6과 7은 온도의 변화에 따른 충·방전특성을 Matlab을 이용하여 살펴본 것으로서 저온으로 갈수록 용량 및 충·방전 효율이 감소함을 알 수 있다.

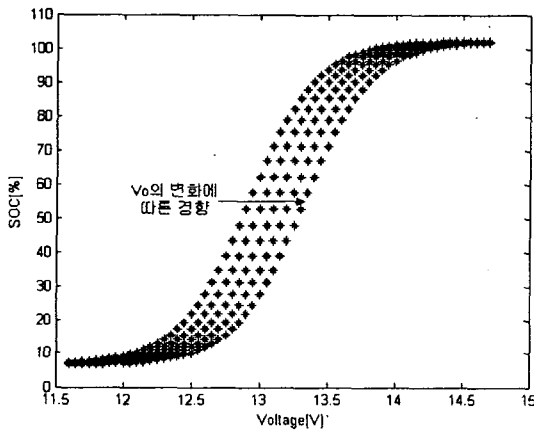


그림 5  $V_0$ 의 변화에 따른 그래프의 변화추이  
Fig. 5 Trend of graph by changing  $V_0$

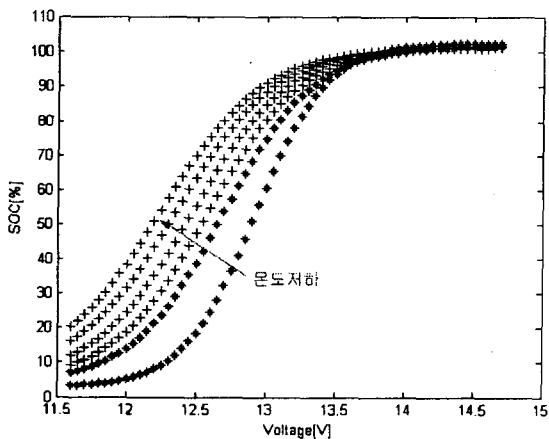


그림 6 Ni-MH의 방전특성  
Fig. 6 Discharge characteristics of Ni-MH

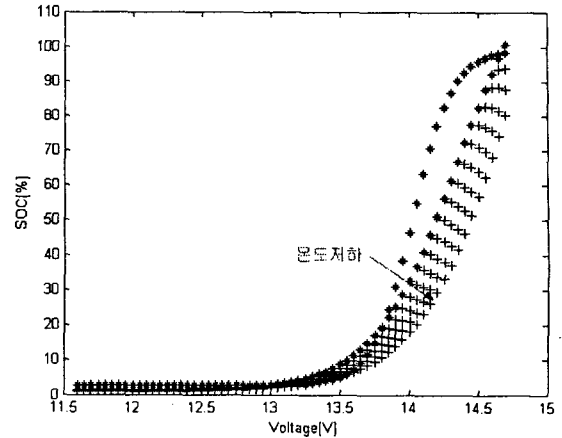


그림 7 Ni-MH의 충전특성  
Fig. 7 Charge characteristics of Ni-MH

여기서 배터리의 저온특성을 분석한 것은 상온에서의 충·방전특성은 거의 동일하게 나타나며, 고온의 경우 냉각팬에 의한 온도제어가 이루어지므로 고려하지 않았다. 또한 본 시험 및 시뮬레이션은 초기 SOC를 검출하기 위한 과정이므로 0.7[A], 약 0.1[C]에 대해서만 나타내었다.

### 2.3.3 자가방전특성 및 충전효율

자가방전특성은 배터리를 차량에 적용하였을 때 일정시간 방치로 인한 용량감소분을 고려하기 위해서 필요한 시험항목이다. 니켈-수소전지의 경우 자가 방전량은 온도 및 SOC가 클수록 많이 발생되며, 온도 및 SOC가 낮을수록 적게 발생된다. 또한 배터리의 충·방전효율은 전지 성능을 평가하는 데 있어서 중요한 지표로 사용되며, 온도 및 전류에 따른 충전효율을 달리 함으로써 정확한 SOC의 표시를 위한 시험이다.

## 3. 시스템의 구성

배터리 ECU의 구성은 그림 8과 같으며, 배터리와 연결되어 전압, 온도 및 전류 등의 정보를 받아들이며, 배터리 온도관리를 위한 냉각팬이 부착되어 있다. 시스템의 제어를 위한 제어기는 Siemens사의 C167CR을 이용하여 구성하였으며, 전류의 검출은 홀센서, 온도의 검출은 서미스터를 이용하여 구성하였다. 차량내의 제어 및 통신은 CAN BUS를 통해 이루어지고 있다. 배터리 ECU는 작동상태를 파악하기 위하여 그림 9와 같이 외부의 PC를 통해 모니터링이 필요하며, 이때 배터리 ECU와 모니터링 PC는 RS-232 통신을 이용하게 되며, 모니터링 프로그램을 통한 데이터는 파일 및 프린터를 통해 저장, 출력할 수 있도록 구성되어 있다.

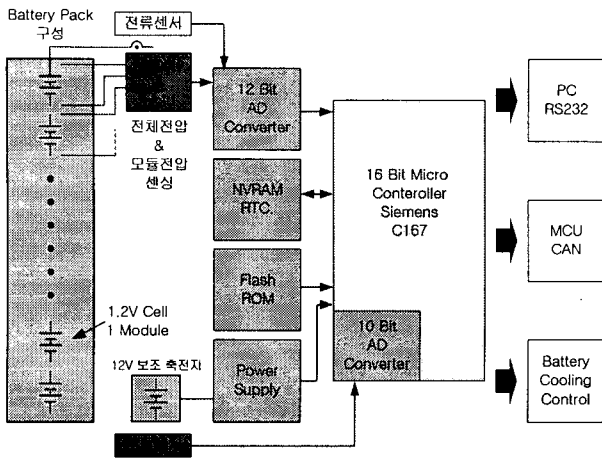


그림 8 배터리 ECU의 구성도  
Fig. 8 Diagram of Battery ECU

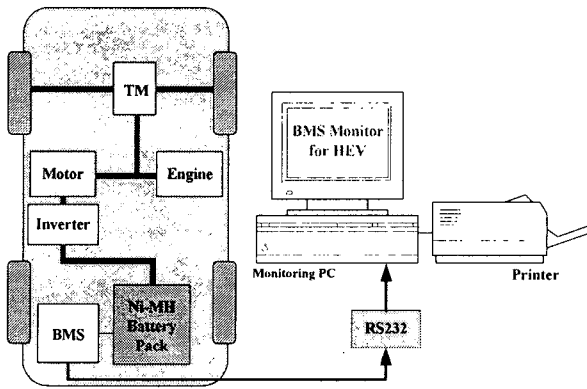


그림 9 시스템의 구성  
Fig. 9 Configuration of system

#### 4. 시뮬레이션 및 실험

HEV의 동작특성을 알아보기 위해 시뮬레이션 및 실차시험을 실시하였다. 측정항목으로서는 배터리 ECU의 설계 및 SOC에 관계되는 축전지 전류를 측정 및 분석하였다. 시뮬레이션은 NREL (National Renewable Energy Laboratory)에서 1994년 DOE(Department Of Energy)Hybrid Program을 지원하기 위해 개발되어진 ADVISOR (Advanced Vehicle Simulator)를 이용하였으며, 실차시험에 사용된 차량은 HEV의 대표적 차량인 Toyota의 Prius를 대상으로 Japan 10.15 주행모드로 시뮬레이션 및 실차시험을 실시하였다.

시뮬레이션 및 시험결과에서의 전류는 그림 10과 11에 나타내었으며, 결과에서 차이가 발생하는 것은 차량의 모델링, 실차시험시 환경적 조건 및 실험자가 직접 시험모드를 주행함으로써 발생된 오차

에 의한 것으로 판단된다. Toyota Prius의 시뮬레이션 및 실차시험을 통해 배터리 ECU 설계시 가장 중요한 요소인 배터리 전류의 충·방전 범위를 해석하였으며, 차량의 구조 및 시스템의 해석을 통해 얻어진 결과를 설계시 고려하여 적용하였다.

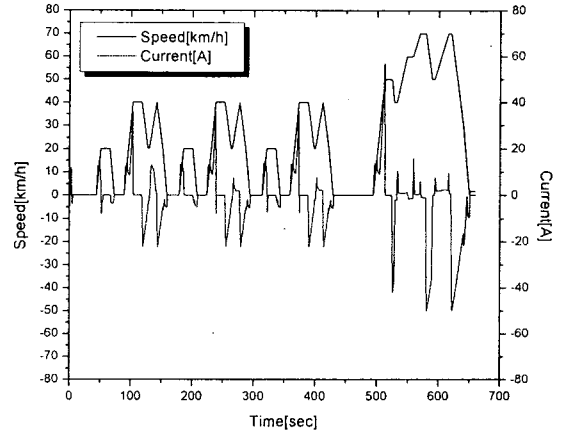


그림 10 시뮬레이션 결과  
Fig. 10 Simulation results

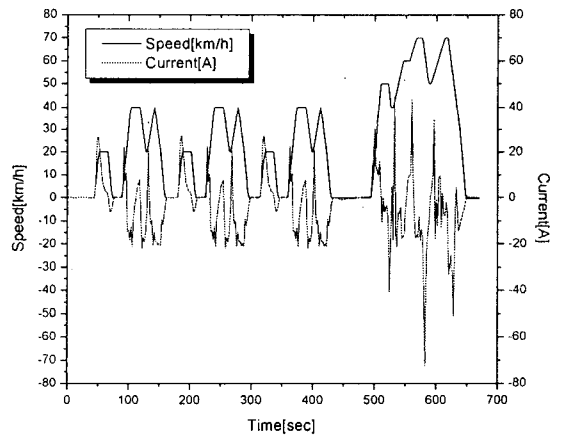


그림 11 실험결과  
Fig. 11 Experimental results

본 논문에서 개발된 배터리 ECU는 실차적용에 앞서 SOC의 정확성을 판별하기 위해 충방전기와 연계하여 상온(25[ $^{\circ}$ C])에서 시험하였다. 충·방전은 Maccor사의 Series-4000(96[V], 9[A], 12[Ch]) 충방전기를 사용하였으며, 배터리는 Panasonic사의 Ni-MH 1.2[V] 6개 셀을 1모듈로 구성하여 총 20개 모듈, 144[V]로 구성하였다. 시험은 Japan 10.15 Mode의 경우 주행시간이 짧고 충·방전의 변화가 크지 않아 SOC 변화의 직접적인 비교가 어렵다. 따라서 그림 12와 같이 배터리를 만충전하여 SOC

100[%]로 Setting하고 1[C]로 방전을 실시하여 SOC가 약 50[%]정도에 근접하였을 때 임의로 충·방전을 실시하였다. 시험결과는 그림 13에 나타내었으며, 모니터링된 SOC는 실제 SOC와 근접하여 변화함을 볼 수 있다. 최대 오차구간이 발생하는 곳은 충·방전 전류가 변화하는 시점으로서 최대 0.55[%] 차이가 발생됨을 확인하였다. 하지만 실제 차량에 장착시에는 충·방전 전류의 변화가 빈번하며, 전류의 크기도 증가하므로 오차의 범위는 증가할 것으로 예상된다.

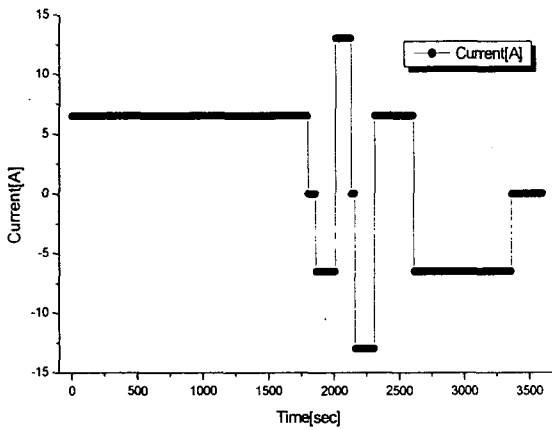


그림 12 충·방전 전류  
Fig. 12 Charging/discharging current

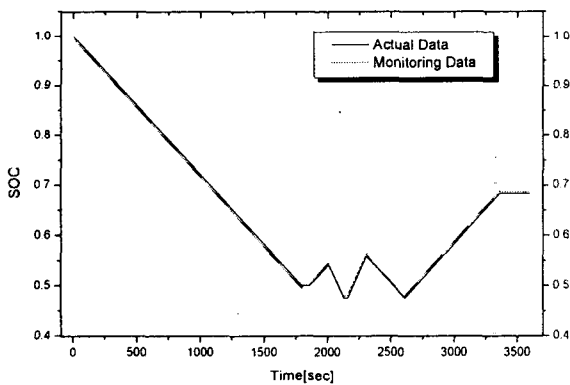


그림 13 SOC의 비교  
Fig. 13 Comparison of SOC

## 5. 결 론

본 논문에서는 하이브리드형 전기자동차에 적용하기 위한 배터리 ECU를 설계 및 제작하였다. 배터리 ECU의 설계에 앞서 배터리 특성시험을 통해 배터리의 모델링 및 SOC를 표시하기 위한 알고리

즘을 개발하였으며, Advisor를 통한 시뮬레이션과 Toyota Prius의 실차시험을 통해 실제 차량에서의 전류 및 SOC의 범위를 파악하여 설계시 반영하였다. 차후에는 개발된 배터리 ECU를 실차에 장착 및 적용하여 주행시험을 통해 성능을 검증 및 보완하고자 한다.

이 논문은 산업자원부의 부품소재기술개발사업 연구비 지원에 의하여 연구되었음

## 참 고 문 헌

- [1] Akira Nagasaka, Mitsuhiro Nada, Hidetsugu Hamada, Shu Hiramatsu, Yoshiaki Kikuchi, "Development of the Hybrid/Battery ECU for the Toyota Hybrid System", Society of Automotive Engineers, pp. 19-27, 1998.
- [2] H.L. Chan, D. Sutanto, "A New Battery Model for use with Battery Energy Storage Systems and Electric Vehicles Power Systems", IEEE, pp. 470-475, 2000.
- [3] A. Caraceni, G. Cipolla, "Hybrid Power Unit Development for FIAT MULTIPLA Vehicle", Society of Automotive Engineers, pp. 29-36, 1998.
- [4] 이재문, 최옥돈, 이종필, 이종찬, "전기자동차용 전지 관리장치의 전지잔존용량 연산 알고리즘에 관한 연구", 전력전자학회 하계논문집, pp. 123-145, 2000. 8.
- [5] 김인중, "전기자동차용 대용량 Ni-MH 전지의 출력 특성 최적화 연구", 전북대학교 대학원 박사학위논문, pp. 1-15, 2001. 2.