

# 하이브리드 전기자동차용 배터리 ECU 설계 및 잔존용량 알고리즘에 관한 연구

南鍾夏<sup>†</sup>, 崔震弘<sup>,</sup>, 金昇鍾<sup>,</sup>, 黃鎬石<sup>''</sup>, 金載雄<sup>'''</sup>

## A Study on SOC Algorithm and Design of Battery ECU for Hybrid Electric Vehicle

Jong-Ha Nam, Jin-Hong Choi, Seung-Jong Kim, Ho-Seok Hwang, and Jea-Woong Kim

### 요 약

무공해 자동차를 만들기 위해 중요한 요소로서는 주행거리와 알맞은 가격이다. 니켈-수소 배터리와 같은 향상된 배터리의 개발은 부분적으로 문제를 해결할 수 있으며, 또 하나의 효과적인 방법은 배터리 관리 시스템이다. 니켈-수소 배터리와 배터리 ECU는 주행거리, 가속도, 등판능력과 같은 무공해 자동차의 성능에 영향을 미치는 중요한 구성품이다. 예컨대 운행 중 쉽게 발생하는 단락, 과방전, 과충전은 배터리와 관계되는 가장 큰 문제점이기 때문에 전용의 HEV용 배터리 ECU의 개발은 필수적이다. 본 논문에서는 배터리 전류적산 및 전압에 기초한 HEV용 SOC 알고리즘을 제안하고 배터리 ECU를 설계 및 해석하였으며, 시험을 통해 타당성을 검증하였다.

### ABSTRACT

The major factors that make ZEV affordable are the range and cost. The development of advanced batteries such as Ni-MH battery can solve the problem partly; on the hand the battery management system is an efficient way. Ni-MH battery and battery ECU is a key component influencing ZEV performance, such as range, acceleration and hill-climbing capability. Because most problems related to battery such as short circuit, over-discharge and overcharge occur easily during operation, it is necessary to develop a dedicated battery ECU for HEV. This paper proposes a new SOC algorithm for the HEV based on the terminal voltage and current integration. And battery ECU was designed and analyzed. Also, the validity is confirmed through experiment.

**Key Words** : Zero emission vehicles, Battery electrical control unit, Ni-metal hydride, Hybrid electric vehicle, Electric vehicle, Toyota prius, Advisor simulation

### 1. 서 론

<sup>†</sup>교신저자 : 정회원, (주)파워로직스 부설연구소 연구원

E-mail : njhman@powerlogics.co.kr

<sup>,</sup>정회원, (주)파워로직스 부설연구소 연구원

<sup>''</sup>정회원, (주)파워로직스 부설연구소 부장

<sup>'''</sup>정회원, (주)파워로직스 부설연구소 연구소장

접수일자 : 2003. 8. 26                      1차 심사 : 2003. 9. 19

2차 심사 : 2004. 3. 30                      3차 심사 : 2004. 4. 21

심사완료 : 2004. 4. 30

현대 사회에서 환경문제는 매우 심각한 문제로서 중요한 관심사로 대두되어 왔다. 이 중에서 대기오염을 살펴보면 주요원인은 자동차 배기가스이며, 이러한 공해문제의 해법으로 전기자동차의 사용이 제시되었다. 미국의 경우 캘리포니아 주정부에서 1998년부터 전기자동차 사용을 의무화하는 ZEV 규제를 입법화하면서 개발이 본격화되었다. 전기자동차의 경우 배터리의 가격문제와 충전시간이 장시간 소요되어 개발의 초점은

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, 배터리의 불안정한 특성 등으로 인한 사고의 위험을 안고 있다.<sup>[1][2][4]</sup> 따라서 본 논문에서는 하이브리드형 전기자동차에 적용하기 위해 BMS(Battery Management System)의 역할을 수행하는 배터리 ECU(Electrical Control Unit)를 설계하였으며, 배터리의 잔존용량을 표시하기 위한 SOC 알고리즘을 제안하고 Advisor를 이용한 시뮬레이션 및 충·방전기를 이용한 시험을 통해 우수성을 검증하였다.

## 2. 시스템의 해석

### 2.1 하이브리드 전기자동차

하이브리드 전기자동차는 동력의 전달 형태에 따라 직렬형과 병렬형으로 분류할 수 있으며, 순수 전기자동차의 경우 모터와 배터리만으로 구동부를 형성하는 것과 달리 엔진을 함께 사용한다는 점이 가장 큰 특징이다. 또한 회생 제동 시스템을 통해 배터리를 충전할 수 있으므로 전기자동차에서의 일종전 주행거리가 한정된다는 단점을 해소하였으며, 외부 충전을 위한 별도의 충전기가 필요하지 않은 형태의 자동차이다.<sup>[3]</sup> 최근에는 동력원으로서 연료전지, 울트라 커패시터 등을 사용하기도 하며, 하이브리드 전기자동차의 특성상 SOC 사용범위는 완전 충·방전을 거듭하는 전기자동차와는 달리 그림 1과 같이 특정구간에서 동작되고, SOC의 상·하한 범위는 대략 20~80%이며, 기준 SOC는 약 50~60%를 적용하고 있다. 일반적으로 배터리의 성능에 영향을 미치는 인자들과 상호연관성은 충전방식, 방전을, 온도 등에 의존하며, 내부저항의 변화로서 배터리의 성능과 수명을 판단하게 된다. 본 논문에서는 그림 2에 보이는 Panasonic사, 6.5[Ah] 용량의 HEV용 Ni-MH 배터리를 사용하여 배터리 ECU의 운영에 필요한 특성을 자체 분석하였다. 본 모델은 1.2[V]의 셀 6개가 직렬로 구성된 모듈로 구분되며, 7.2[V]의 모듈로 구성된 38개가 하나의 팩으로 구성되어 전체전압은 약 274[V]가 되며, Toyota의 대표적인 하이브리드 전기자동차인 Prius에 적용되고 있는 배터리이다.

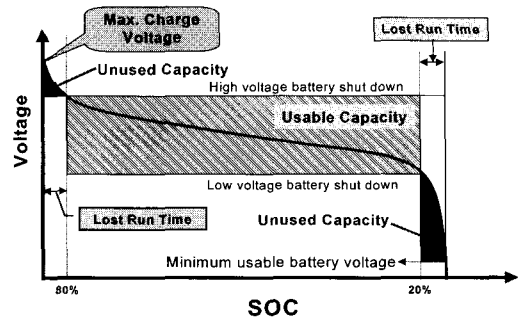


그림 1 HEV의 SOC 범위  
Fig. 1 SOC range of HEV



그림 2 니켈-수소 배터리, Panasonic, 6.5[Ah]  
Fig. 2 Ni-MH Battery, Panasonic, 6.5[Ah]

### 2.2 니켈-수소 배터리의 모델링

배터리의 경우 내부저항에 의한 손실 외에 전지내부의 분극작용에 의한 비선형적인 손실로 인해 모델링시 많은 변수가 존재하게 되며, 전기적으로 정확한 모델링을 하는 것은 매우 어렵다. 따라서 본 논문에서는 실제 배터리의 충·방전특성곡선으로부터 Boltzmann 방정식을 이용하여 배터리 모델링을 실시하였다. 그림 3은 니켈-수소 배터리의 모델링을 위한 Boltzmann식을 구하기 위해 0.7[A]로 충·방전을 실시한 결과를 보여주고 있다. 배터리는 충·방전시 내부저항에 의해 전압강하가 발생되며, 전류의 방향에 따라 각각 달리 작용되게 된다. 이 그래프에서는 내부저항에 의한 전압강하를 고려하지 않은 중앙값으로 채택하였다. 충·방전특성곡선으로부터 추정된 Boltzmann 방정식은 수식 (1)에 나타내었다.

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

여기서  
 SOC : State of Charge[%]  
 $V_1$  : Discharge end voltage[V]  
 $V_2$  : Charging end voltage[V]  
 $v_0$  : Normal Voltage[V]  
 $v$  : Terminal 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 4에서는 예로서  $v_0$ 의 증가에 따른 그래프를 나타내었다. 또한 온도에 따른 각 변수의 변화를 살펴보면 충전시 변수들은 증가를 하게 되고 방전시는 감소하는 특성을 보인다. 그림 5와 6은 온도의 변화에 따른 충·방전특성을 Matlab을 이용하여 살펴본 것으로서 20, -20[°C]의 실제 배터리 특성곡선에서 온도가 2[°C]씩 하강하였을 때를 나타내었다. 그래프를 통해 알 수 있듯이 방전특성은 온도가 저하할수록 방전량, 즉 용량이 감소함을 알 수 있으며, 충전특성은 온도가 저하할수록 더 많은 충전량을 필요로 함을 알 수 있다. 이를 통해 저온의 경우 용량 및 충·방전 효율이 감소함을 알 수 있다. 여기서 배터리는 상온에서 거의 동일한 충·방전특성이 나타나며, 고온의 경우 냉각팬에 의한 온도제어가 이루어지므로 고려하지 않았다.

### 2.3 SOC 알고리즘

EV나 HEV에서 배터리의 SOC는 중요한 요소 중 하나이다. 일반적으로 SOC는 배터리 전압에 의한 방법, 전류적산에 의한 방법, 배터리 내부저항에 의한 방법 등 다양한 방법이 있으나 이들 각각의 방법은 조건에 따른 오차의 범위가 커질 수 있으며, 특히 전압 및 내부저항에 의한 방식의 경우 충·방전전류의 크기 및 지속시간에 따라 분극현상의 해소까지 많은 시간이 소요되며, 기준 SOC 부근에서는 미소한 전압 및 내부저항의 차가 발생되더라도 SOC는 많은 차이를 보이게 된다. 그림 7은 초기 SOC 60[%]에서 Japan 10.15로 충방전을 실시하여 SOC가 0.48, 3.27, 8.16, 13.03[%]로 SOC가 상승하였을 때를 기준으로 경과시간별 OCV (Open Circuit Voltage)를 측정하였다. 그림에서 보듯이 시간이 경과함에 따라 전압은 점차 감소하여 안정화됨을 볼 수 있다. 하지만 일정전압에 도달하는데 장시간이 소요되며, 8.16[%]나 13.03[%]에서 1시간경과시점에서의 전압차인 0.25~0.3[V]의 전압은 기준 SOC 부근영역에서 그림 3의 전압-SOC 특성곡선으로 볼 때 많은 SOC의 오차범위를 가지게 된다. 그리고 내부저항에 의한 SOC의 산출방법은 수식 (2)에서와 같이 DC 측정법에 의해 계산될 수 있다. 이 방식의 경우 전류가 변화시 내부저항에 따른 전압강하분과의 관계를 통해 배터리의 내부저항을 측정하는 방식으로 HEV의 경우처럼 충·방전 전류가 빈번히 교번되는

시스템에서는 적용하기가 어려우며, 충·방전 전류의 크기에 따른 내부저항의 값도 변화하게 된다. 따라서 본 논문에서는 수식 (3)에서와 같이 전류적산법을 토대로 하고, 오차율  $\alpha$ 에 대해 배터리 전압을 근거로 하여 보정하는 방법을 택하였다. 전압에 의한 보정시점은 전압오차에 의한 SOC의 오차범위가 작은 상·하한 SOC인 20과 80[%] 시점에서 실시하며, 보정에 필요한 전압은 각각의 전류 및 온도별로 미리 시험을 실시하고 이를 테이블로 구성하였으며, 동일조건에서 상·하한 전압에 도달시 SOC를 20 혹은 80[%]로 보정하도록 구성하였다. 보정시점의 결정은 그림 3에서 보는 바와 같이 기준 SOC 부근에서는 그래프의 기울기가 완만하여 미소한 전압오차에도 SOC의 변동폭이 커지게 되며, 반면 상하한 제한 SOC인 20과 80[%] 부근에서는 그래프의 기울기가 비교적 커지게 되어 오차의 발생을 줄이고 배터리의 과충전 및 과방전을 방지하기 위한 배터리 동력공급차단 시점을 정확히 검출한다는 장점을 가진다. 그림 8은 본 논문에서 제안하는 SOC 알고리즘을 보여주고 있다.

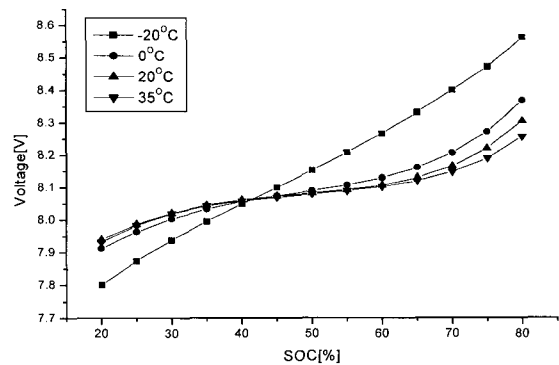


그림 3 Ni-MH 배터리의 전압-SOC 특성  
Fig. 3 Open circuit voltage versus SOC

$$InternalResistance = \frac{|V_1 - V_2|}{|I_2 - I_1|} [m\Omega] \quad (2)$$

$$SOC[\%] = Q - Q_{selfdis} \pm \alpha Q_{curr} \quad (3)$$

여기서

$Q$  : Key off시 용량

$Q_{selfdis}$  : 자가방전용량

$Q_{curr}$  : 전류적산에 의한 방전용량

$\alpha$  : 전류적산 오차율

### 3. 시스템의 구성

배터리 ECU의 구성은 그림 9와 같이 배터리로부터 전압, 온도 및 전류 등의 정보를 받아들이며, 온도관리를 위한 냉각팬이 부착되어 있다. 시스템 제어를 위한 제어기는 Siemens사의 C167CR을 사용하였으며, 전류 검출은 홀센서, 온도검출은 서미스터를 사용하였다.

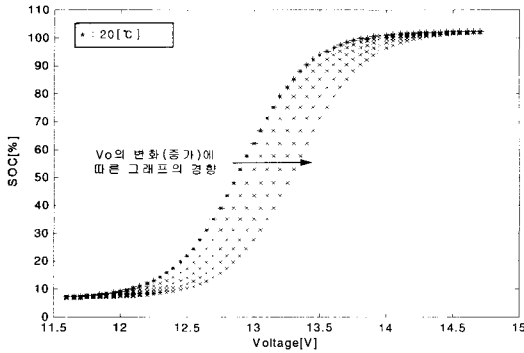


그림 5 Vo의 변화에 따른 그래프의 변화추이  
Fig. 5 Trend of graph by changing Vo

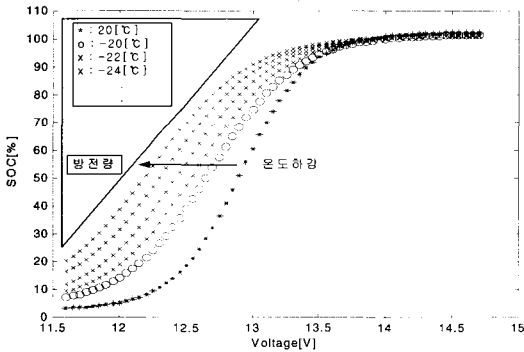


그림 6 Ni-MH의 방전특성  
Fig. 6 Discharge characteristics of Ni-MH

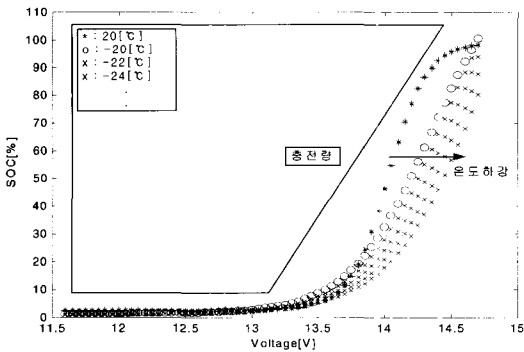


그림 7 Ni-MH의 충전특성  
Fig. 7 Charge characteristics of Ni-MH

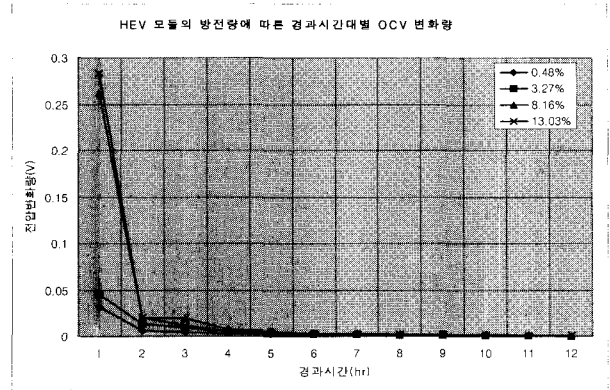


그림 7 시간변화에 따른 OCV  
Fig. 7 OCV to time change

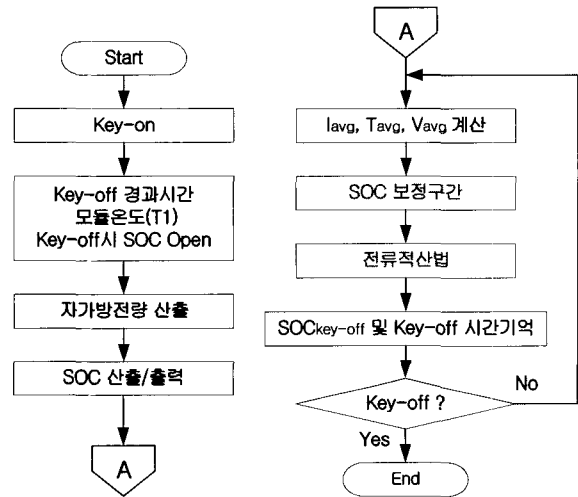


그림 8 SOC 알고리즘  
Fig. 8 SOC Algorithm

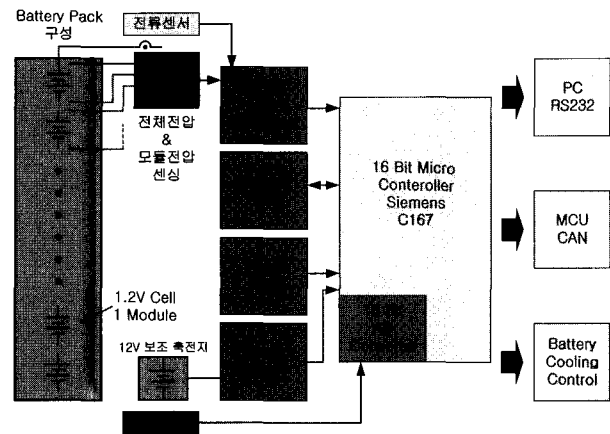


그림 9 배터리 ECU의 구성도  
Fig. 9 Diagram of Battery ECU

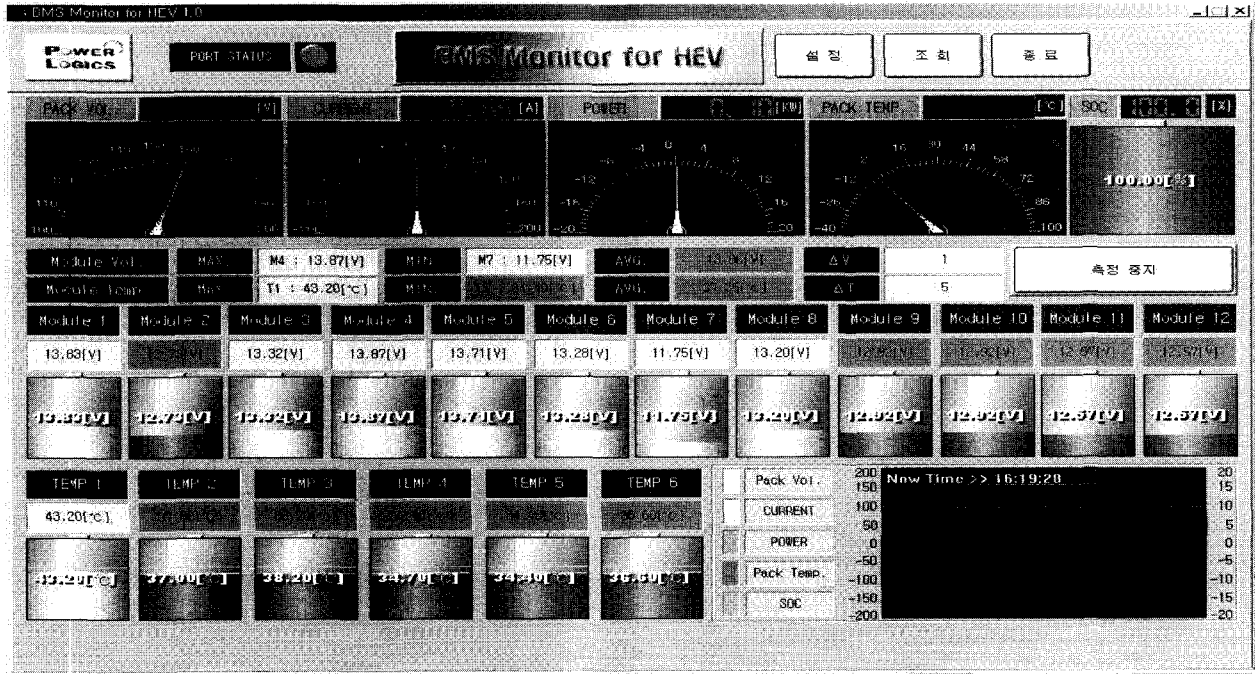


그림 10 HEV용 모니터링 프로그램  
Fig. 10 Monitoring Program for HEV

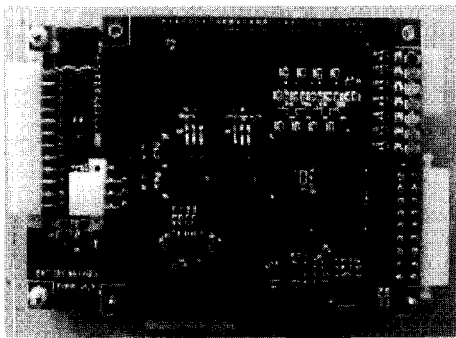


그림 11 HEV용 배터리 ECU  
Fig. 11 Battery ECU for HEV

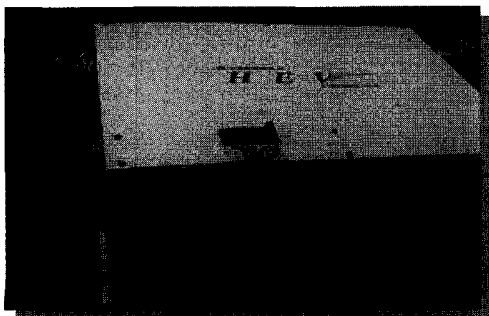
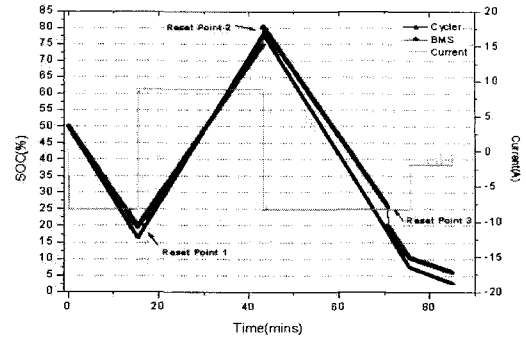


그림 12 HEV용 배터리 팩 시스템  
Fig. 12 Battery Pack System for HEV

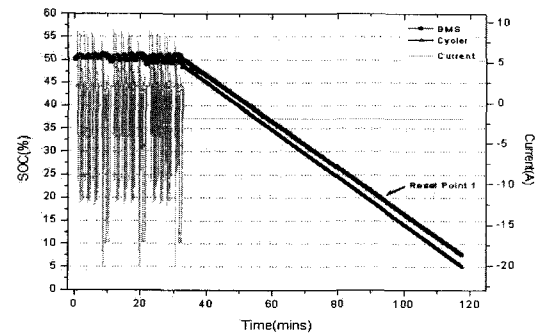
차량내의 제어 및 통신은 CAN BUS를 통해 이루어지고 있으며, 배터리 ECU는 작동상태를 파악하기 위하여 외부 PC를 통한 모니터링이 필요하고, 이때 배터리 ECU와 모니터링 PC는 RS-232통신을 통해 이루어지게 된다. 그림 10은 RS-232통신을 이용하여 외부 PC를 통해 배터리의 상태를 관측하기 위한 HEV용 모니터링 프로그램의 메인화면을 보여주고 있다. 프로그램의 구성은 크게 데이터의 표시부와 모니터링 프로그램의 설정부로 구분된다. 데이터 표시부는 아날로그와 디지털의 두 가지 방식을 적용하여 배터리 전체전압, 전류, 전력, 온도 및 SOC 등의 정보를 제공하며, 모듈의 온도 및 전압의 경우 최대, 최소, 평균, 편차 등을 디지털 값으로 표시하게 되며, 각각의 항목을 실시간 그래프로 표현함으로써 전체적인 변화추이를 관측 및 예상할 수 있도록 구성되어 있다. 그림 11과 12는 설계되어진 HEV용 배터리 ECU와 배터리 팩 시스템을 보여주고 있다. 본 시스템의 경우 앞서 분석된 Panasonic사의 니켈-수소배터리를 사용하지 않고 국산화의 일환으로 국내 배터리 제조사의 니켈-수소 배터리를 적용하여 제작되었으며, 현재 실차 적용에 앞서 충·방전기를 이용한 시험중에 있다.

#### 4. 시뮬레이션 및 실험

HEV의 동작특성을 알아보기 위해 시뮬레이션 및 실차시험을 실시하였다. 측정항목으로는 배터리 ECU의 설계 및 SOC에 관계되는 배터리 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 주행모드<sup>[5]</sup>로 시뮬레이션 및 실차시험을 실시하였다. 일반적으로 차량의 시험에 사용되는 주행모드는 각 나라의 도로상황을 고려하여 적용하고 있다. 국내의 경우 미국의 주행모드기준인 FTP-75 모드를 적용하는 경우가 많으나 주행시간 및 거리가 길어 결과의 분석이 용이치 않기 때문에 본 논문에서는 일본에서 적용되는 대표적인 시험모드인 Japan 10·15모드를 적용하였다. 시뮬레이션 및 시험결과에서 배터리 전류는 그림 13과 14에 나타내었으며, 결과에서 차이가 발생하는 것은 차량의 모델링과 실차시험시의 환경



(a) 8.5[A] 정전류 충방전



(b) Japan 10.15 Mode

그림 15 SOC의 비교

Fig. 15 Comparison of SOC

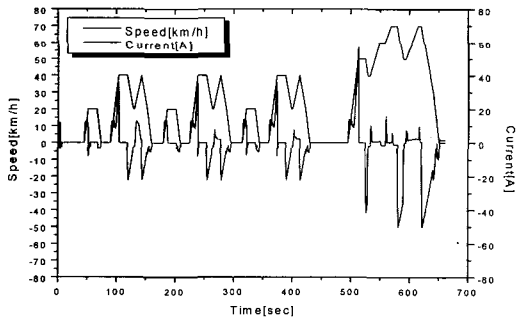


그림 13 시뮬레이션 결과

Fig. 13 Simulation results

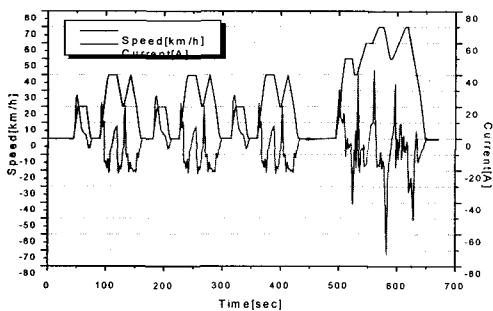


그림 14 실험결과

Fig. 14 Experimental results

적 조건 및 실험자가 직접 시험모드를 주행함으로써 발생한 오차에 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 고려하였다. 본 논문에서 개발된 배터리 ECU는 실차적용에 앞서 SOC의 정확성을 판별하기 위해 충방전기와 연계하여 상온(25[°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 자동차 메이커마다 각각 다른 기준 SOC를 적용하며, HEV의 SOC 범위의 중간값인 50[%]를 초기값으로 하여 정전류(8.5[A])로 충방전한 경우와 시뮬레이션과 실차시험에서 나타난 Japan 10·15 Mode의 실제 전류로 충·방전한 경우를 대상으로 SOC의 정밀도를 살펴보았다. 그림 15의 (a)에서는 정전류 충방전의 경우에서의 시험결과이며, 결과에서 보듯이 전류적산법에 의한 오차가 차츰 증가하다가 보정시점 1에서는 보정전압에

도달하지 않아 보정이 이루어지지 않았으며, 보정시점 2와 3에서는 보정전압에 도달하여 SOC가 각각 80와 20[%]로 보정되어 오차가 줄어드는 것을 볼 수 있다. 또한 SOC의 상·하한 범위를 초과시 배터리의 열화가 중간영역에서보다는 빠르게 진행되며, 이 범위에서 배터리의 충전 및 방전을 금지하게 된다. 따라서 전류적 산법에 의한 SOC의 오차가 발생하게 되더라도 전압에 의한 보정을 통해 SOC의 오차보정 뿐만 아니라 충전 및 방전 금지시점을 정확히 결정한다는 장점을 가진다. 그림 (b)에서의 Japan 10·15 Mode의 경우를 나타내고 있으며, 보정시점에 도달하였으나 보정전압에 도달하지 않아 보정이 이루어지지 않고 유지됨을 볼 수 있다. 따라서 본 논문의 SOC 알고리즘은 기존의 방식을 적절히 적용함은 물론 SOC의 오차범위를 줄일 수 있는 방법을 제시하였다.

## 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 알고리즘을 개발하였으며, Advisor를 통한 시뮬레이션과 Toyota Prius의 실차시험을 통해 실제 차량에서의 전류 및 SOC의 범위를 파악하여 설계시 반영하였다. 설계된 배터리 ECU는 실차적용에 앞서 충방전기를 이용하여 기능 및 신뢰성 시험을 수행하고 있으며, 차후에는 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] Kousuke Suzui, Shuichi Nagata, Takeshi Tachibana, "A Battery System for the Crown Mild Hybrid", EVS 19, pp. 522~526, 2002. 10.
- [5] Z. Rahman, K. L. Butler, M. Ehsani, "A Study of Design Issues on Electrically Peaking Hybrid Electric Vehicle for Diverse Urban Driving Patterns", Society of Automotive Engineers, 1999.
- [6] 이재문, 최옥돈, 이종필, 이종찬, "전기자동차용 전지관리장치의 전지잔존용량 연산 알고리즘에 관한 연구", 전력전자학회 하계논문집, pp. 123~145, 2000. 8.

## 저 자 소 개



### 남종하(南鍾夏)

1974년 4월 24일생. 2000년 호서대 공대 전기공학과 졸업. 2004년 건국대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2002년~현재 파워로직스 부설연구소 연구원.



### 최진홍(崔震弘)

1972년 3월 8일생. 1999년 건국대 공대 공업화학과 졸업. 1999년~2002년 성남전자공업 부설연구소 연구원. 2002년~현재 파워로직스 부설연구소 연구원.



### 김승중(金昇鍾)

1970년 8월 26일생. 2001년 동국대 공대 전자공학과 졸업. 2003년~현재 서울산업대 대학원 전자공학과 재학(석사). 1995년~1998년 롯데전자 개발부. 2002~현재 파워로직스 부설연구소 연구원.



### 황호석(黃鎬石)

1968년 12월 27일생. 1996년 원광대 공대 전자공학과 졸업. 2004년 서울산업대 대학원 전자공학과 졸업(석사). 1985년~1988년 영원통신. 1995년~1997년 동양트랜스공업. 1999년~현재 파워로직스 부설연구소 부장.



### 김재웅(金載雄)

1956년 8월 30일생. 1982년 고려대 공대 대학원 기계공학과 졸업(석사). 1993년 동대학원 기계공학과 졸업(공학박사). 1982~1991년 국방과학연구소 선임연구원. 1993~2000년 삼성상용차 엔진연구개발 부장. 현재 파워로직스 부설연구소 연구소장.