

EV용 BMS의 역할과 운전 알고리즘

李在文, 崔旭悳, 李鍾弼, 李鍾燦

Role and Operation Algorithm of a Battery Management System for Electric Vehicles

J. M. Lee, U. D. Choi, J. P. Lee, and J. C. Lee

요 약

전기자동차 시스템에서 전지관리장치는 배터리의 전압과 온도, 충전 전류를 검지하고 관리하며, 전기자동차의 운전상태에 따라 충전상태(SOC)를 추정하여 배터리를 최적 관리하는 역할을 한다. 본 논문에서는 BMS의 역할과 기능에 대한 적합한 알고리즘을 제시하고 이를 EV 차량에 탑재, 적용하여 주행시험 및 성능시험을 행하여 타당성을 입증하였다.

ABSTRACT

BMS(Battery Management System) in EV system(Electric Vehicle) senses voltage, temperature and the charging or discharging current of batteries. The main roles of BMS are to estimate SOC(State Of Charge) of batteries and optimally monitor them according to the operation state of EV system which is motoring mode or charging mode. In this paper, we propose the proper algorithm about BMS's roles and operation which is suitable to EV system and illustrate validity and effectiveness through the experiments which were performed in the condition of Vehicle road test and charging test.

Key Words : BMS, battery, SOC, EV

1. 서 론

전기자동차(Electric Vehicles, 이하 EV)는 에너지 효율이 높은 청정에너지 차량이라는 점 때문에, 2003년부터 미국 캘리포니아 주를 시작으로 미국의 12개

주에서 저공해차량의 일정비율 판매 의무화가 확산됨에 따라 활발하게 개발되고 있다. 또한, 일부 자동차회사에서는 전기자동차 및 하이브리드 전기자동차를 실용화하여 판매를 하고 있다.

전기자동차는 배터리로부터 에너지를 공급받기 때문에 배터리 성능에 따라 직접적인 영향을 받는다. 그러므로 전기자동차의 주행성능을 향상시키고 배터리의 과충방전을 방지하며, 배터리 수명을 연장하기 위한 전지관리장치는 EV의 핵심 부품이다.

본 논문은 크게 세 부분으로 이루어져 있다. 첫째, 전지관리장치의 전기자동차에서의 역할과 사양에 대한

*현대중공업 기전연구소 EV전장팀 연구원

E-mail : ljmzzz@hhi.co.kr

접수일자 : 2001. 8. 8

1차심사요청일 : 2001. 8. 9

심사완료일 : 2001. 9.15

부분과 둘째, 배터리의 충전상태를 추정하는 추정 알고리즘 부분, 셋째, 전지관리장치 제어 알고리즘에 대한 부분이다.

2. 본 론

2.1 전지관리장치 기능과 사양

전지관리장치 (Battery Management System)는 배터리 전압과 전류, 온도를 감시하여 운전중이거나 충전 중에 배터리의 충전상태(SOC : State Of Charge)를 계산하게 된다. 이 전지관리장치의 역할은 첫째, 운전 중이나 충전 중에 배터리에 대한 충전상태를 계산하는 것이다. 이를 통해서 저 충전상태에서는 운전 가능한 파워를 조절하여 배터리의 무리한 출력을 방지할 수 있고 과 충전상태에서는 과도한 충전을 피함으로써 배터리를 보호할 수 있다. 두 번째로, 모듈간 충전 불균형인 상태를 모듈간의 전압편차를 통해서 알 수 있다는 것이다. 이 불균형한 충전상태를 점검하여 각각의 배터리가 균등 충전되도록 충전을 하게된다. 세 번째로, 운전 중이나 충전 중에 각각의 배터리 모듈 상태를 감시하여 배터리 허용 가능한 전압과 온도 제한을 넘지 않도록 하는 역할을 수행한다. 배터리의 전체 전압이 300V 이상이 되기 때문에 이에 대한 각각의 전압을 읽어 오기 위하여 릴레이를 사용하였다. 전압은 28 모듈, 온도는 12개가 검출 가능하게 만들었다. 전지관리장치의 기본 사양은 표 1과 같다.

표 1 전지관리장치 기본사양
Table 1 Basic Specification of BMS

항 목	특 정	사 양
온도 측정	12채널, NTC 사용	40°C ~ 150°C, 오차 ±1°C
전지모듈 전압측정	28채널, Photo Relay 사용	0 ~ 18V, 오차 ±0.1V
전지 팩전압 측정	28채널의 합을 통해 계산	0 ~ 504V, 오차 ±1V
팬 구동	2개 Transistor 사용	On/Off 제어가능
전류측정	Hall CT	0 ~ 300A, 오차 ±0.5A
RS232통신	Max233 사용	PC와 통신, 통신주기 0.2초
CAN통신	C167내부 CAN제어기	MCU와 통신 (SAE J1939)
Key On 신호		운전동작명령
제어입력전원	13.8V	8 ~ 22V
내부전원		5V, 4V, 22V, ±15V

전지관리장치는 전기자동차 전력시스템에 Controller 및 충전장치와 결합되어 그림 1과 같이 구성된다.

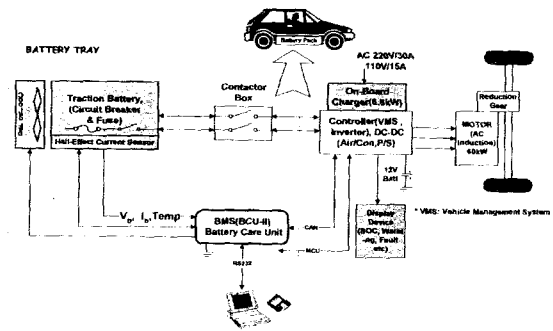


그림 1 전기자동차 전력시스템 구성도
Fig. 1 Block Diagram of EV's Power System

전지관리장치는 모터링 시에는 배터리에 대한 제어 변수 값들을 Controller에 보내고 충전 시에는 충전기를 제어하기 위한 제어 변수 값들을 충전시스템에 보내게 된다.

전지관리장치의 전압측정은 모듈별 전압을 절연상태에서 감지하기 위해 릴레이를 사용하고 온도 측정은 NTC를 사용하며 Hall CT를 통해 전류를 검지한다.

그림 2는 개발된 전기자동차용 전지관리장치의 실물 사진이다. 전지관리장치의 하드웨어장치는 크게 전압과 온도를 감지하는 회로부분과 제어를 위한 컨트롤러 회로부분으로 되어 있다. 그림 2에 보이는 부분은 배터리 모듈 전압을 검지하기 위한 릴레이 회로이다

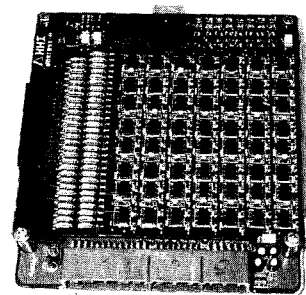


그림 2 전기자동차용 전지관리장치
Fig. 2 Battery Management System for EV

2.2 충전상태 추정 알고리즘

충전상태 SOC(State Of Charge) 추정방법은 여러 가지가 있다. 배터리의 내부 임피던스를 측정해서 하는 방법이 있고 배터리를 모델링(Zimmerman 모델)하여 추정하는 방법도 있고 간단하게 충전되는 전류량이나 방전되는 전류량을 시간에 대해 적분하여 Ah를 계

산하는 방법 등이 있다. 본 연구에서는 여러 가지 SOC 추정방법 중에서 정확도나 실 시간적인 구현방법을 고려하여 첫째, 초기 SOC 추정은 개방전압을 이용하여 Boltzman 방정식을 적용하였고, 둘째, 방전 시(모터링 모드 시)에는 Peukert 방정식을 이용하여 추정하였고, 셋째 충전 시에는 팩 전압을 이용하여 Boltzman 방정식을 적용하여 추정하였으며, 넷째, SOC를 배터리 상태(온도, 방전 상태, 충전 횟수 등)에 따라 보정하는 방식을 채택하였다. 그림 3은 전지관리장치에서 모드에 따른 SOC 추정하는 방법을 나타내는 흐름도이다.

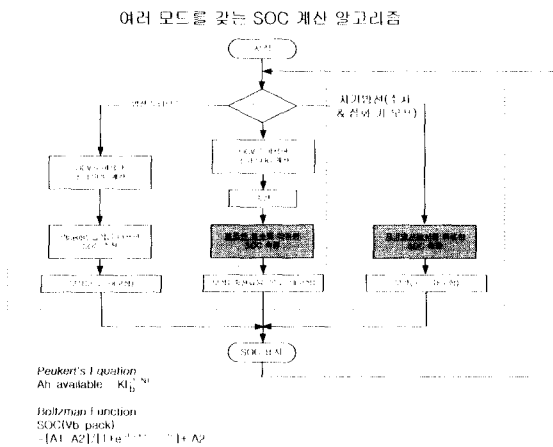


그림 3 모드에 따른 SOC 추정 제어 흐름도
 Fig. 3 SOC estimation control flow chart by EV's behavior mode

2.2.1 개방전압을 이용한 초기 SOC 추정방법

전지관리장치는 초기화 제어 흐름에서 배터리의 개방전압을 검지하여 이를 전압 대 SOC Boltzman 방정식에 적용하여 초기 SOC를 추정하게 된다. 이에 관련된 Boltzman 방정식은 식 (1)과 같고 전압 대 SOC Boltzman 그래프는 그림 4와 같다.

$$SOC(V_{battery}) = \frac{A1 - A2}{1 + e^{\frac{V_{battery} - V_0}{dV}}} + A2 \quad (1)$$

- 여기서, A1 : 충전 시작 시의 배터리 전압
- A2 : 충전 완료 시의 배터리 전압
- V₀ : SOC 50%시의 전압
- dV : 그래프의 기울기
- V_{battery} : 측정된 배터리 전압

을 각각 나타낸다. 그림 4에서 A2는 370V이고 A1은 310V로 설정되어 있다. dV는 배터리의 종류 및 노화 상태, 온도에 따른 변수이다. 전기자동차의 운전모드는 모터링 모드와 충전 모드로 나누어진다. 전지관리장치 초기화시 운전 모드에 관계없이 개방전압을 이용하여 SOC를 추정하게 된다.

2.2.2 Peukert 방정식을 이용한 SOC 추정방법

모터링 모드에서는 Peukert 방정식을 이용하여 배터리의 이용 가능한 용량을 계산하게 된다. 이에 대한 관련 식들은 식 (2)와 식 (3)과 같다.

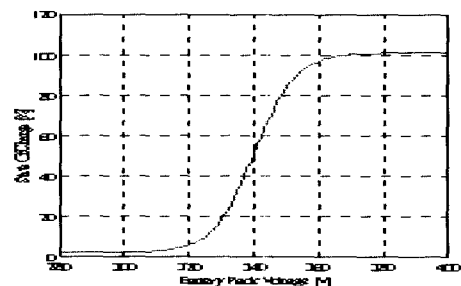


그림 4 배터리 개방전압을 이용한 SOC 추정
 Fig. 4 SOC estimation using a Battery Open Voltage

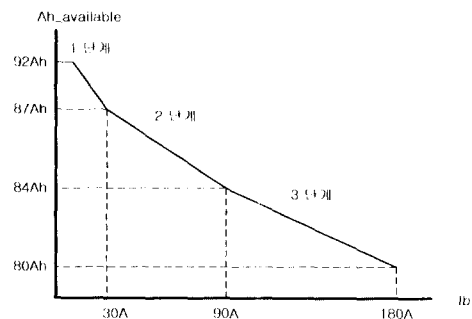


그림 5 방전전류용량에 따른 사용가능용량 그래프
 Fig. 5 The available Capacity of the battery for a discharge current

$$Ah_{available} = Capacity(Ah) = K \times I_{avg}^{(1-n)} \quad (2)$$

$$n = \frac{\log \frac{t_1}{t_2}}{\log \frac{I_1}{I_2}}, K = I_1^n \times t_1 = I_2^n \times t_2 \quad (3)$$

여기서, I_{avg} : Average battery current

- I_1 : Maximum Battery Current During Motoring
- I_2 : Minimum battery Current During Motoring
- t_1 : Discharge time of I_1 constant current
- t_2 : Discharge time of I_2 constant current

식 (3)에서 상수 n과 K는 방전되는 방전전류용량에 따라 3단계로 나누어져 구해진다.

그림 5는 방전전류에 따른 상수 n과 K가 적용되는 구간을 나타내고 있다.

방전 전류 I_{avg} 에 따라 식 (2)를 이용하여 배터리 사용 가능용량이 계산된다. 이렇게 구해진 배터리 사용 가능용량을 식 (4)에 대입하여 SOC를 추정하게 된다.

$$SOC(\%) = SOC_{initial} - \left(\frac{A_h \text{ used}}{A_h \text{ available}} \right) \times 100 \quad (4)$$

2.2.3 Boltzman 방정식을 이용한 SOC 추정방법

충전 모드에서의 SOC 추정방법은 전압 대 SOC를 이용한 Boltzman 방정식으로부터 추정하게 된다.

Boltzman 방정식은 식 (1)과 같고 이를 이용한다. 기본 충전 모드는 정전력 모드(CP : Constant Power)와 1차 정전류 모드(CC1 : Constant Current step 1 mode), 2차 정전류 모드(CC2 : Constant Current step 2 mode), 안정화 모드로 나누어진다. 충전 모드에 따라 Boltzman 방정식 변수들인 dV, A1, A2, Vo들이 다르게 적용되게 된다. Boltzman 방정식의 변수 A1은 배터리의 방전 중지 전압을 가리키고 변수 A2는 충전 중지 전압을 나타낸다. A1과 A2의 선정은 배터리 제조회사의 배터리 충전 및 방전 특성 그래프를 통해서 결정하게 된다. 또한 Boltzman 방정식 변수들 중에서 Vo가 고정된 상태에서 dV값의 변화에 따라 Boltzman 방정식 그래프의 변화 추이는 그림 6과 같다.

그림 6에서 보듯이 Vo가 고정된 상태에서 dV가 증가함에 따라 그래프의 기울기가 완만해지고 dV가 감소함에 따라 그래프의 기울기가 급해지는 것을 볼 수 있다.

Boltzman 방정식 변수들 중에서 dV가 고정된 상태에서 Vo값의 변화에 따라 Boltzman 방정식 그래프의 변화 추이는 그림 7과 같다. 그림 7에서 보듯이 dV가 고정된 상태에서 Vo이 증가함에 따라 그래프가 왼쪽으로 이동하는 것을 볼 수 있다. Boltzman 방정식의 변수 Vo와 dV는 배터리 충전 특성 곡선을 통해서 구할 수 있다. 또한 Boltzman 방정식의 변수들은 배터리의 압력 및 온도에 의해서도 영향을 받는다.

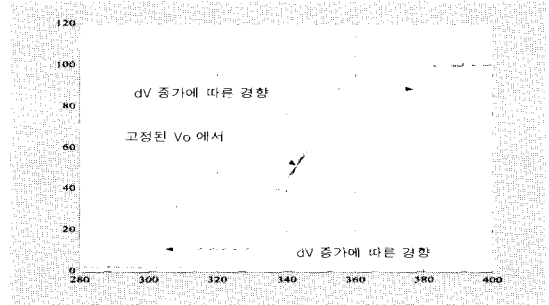


그림 6 dV변화에 따른 Boltzman 그래프 변화추이
Fig. 6 The trend of Boltzman graph by dV

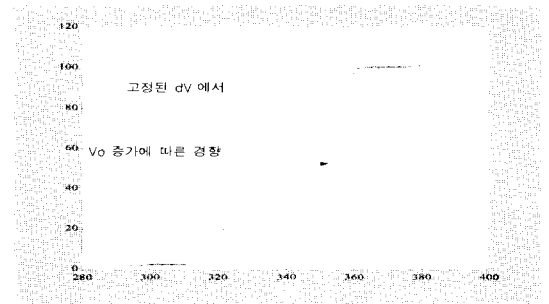


그림 7 Vo변화에 따른 Boltzman 그래프 변화추이
Fig. 7 The trend of Boltzman graph by Vo

2.2.4 SOC 보정방법

배터리의 충전 곡선은 외부 및 내부 요인에 따라 달라진다. 외부 요인을 살펴보면 충전 전류, 외부 온도가 있고 내부 요인을 보면 충전 시 배터리 내부 온도, 충전 횟수, 노화 등이 있다. 이런 내부외부 요인에 의해 배터리의 사용가능 용량 및 충전 특성곡선이 달라지게 된다. 정확한 SOC의 추정을 위해서는 이에 대한 보정이 필요하며 본 논문에서는 온도에 의한 보정방법을 이용하였다.

온도에 의한 보정 방법은 배터리의 종류에 따라 다르다. 납축전지의 경우에는 온도가 상승하면 내부 저항 성분이 커지는 경향이 있고 Ni-MH의 경우에는 온도가 상승하면 내부 저항 성분이 작아지는 경향이 있다. 즉 온도에 따라 충전 중지 전압이 달라지고 방전 중지 전압이 달라진다. 또한 충전 특성곡선의 기울기의 정도나 중심점이 이동하게 된다. 충전 중지 전압 변동은 A2를 보상하고 방전 중지 전압이 변동하면 A1을 보상하며 Boltzman 방정식의 기울기가 변동하게 될 경우에는 dV를 보상하고 중심점이 이동하면 Vo를 보상하면 된다. 이와 같은 방법으로 온도에 의한 배터리의 SOC 추정에 대한 보정이 이루어진다.

2.3 제어 알고리즘

전지관리상태의 기본 제어기능을 살펴보면 첫째 SOC 추정법, 둘째 전압과 온도, 충방전 전류 검지 후 배터리 상태 검사, 셋째 모터링 시 SOC에 따른 방전 전류 및 회생 전류 제어, 넷째 충전 시 충전 단계에 따른 충전 전류 제어로 나누어 질 수 있다. 그림 8은 이에 대한 전체 제어 흐름도이다. 본 논문에서는 전지 관리장치의 제어 기능은 크게 모터링 모드 제어와 충전모드 제어 나누어진다.

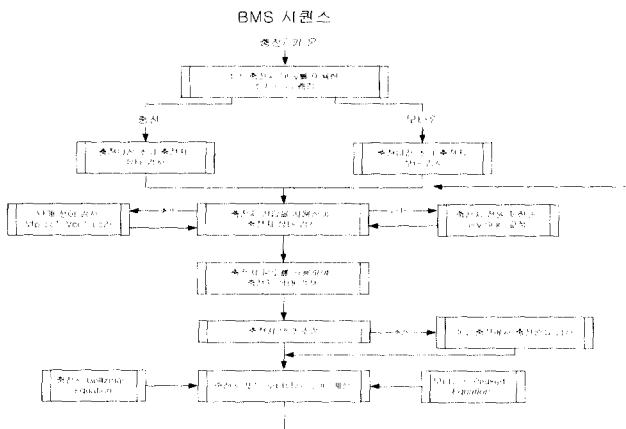


그림 8 BMS 전체 제어 흐름도
Fig. 8 Overall control flow chart of BMS

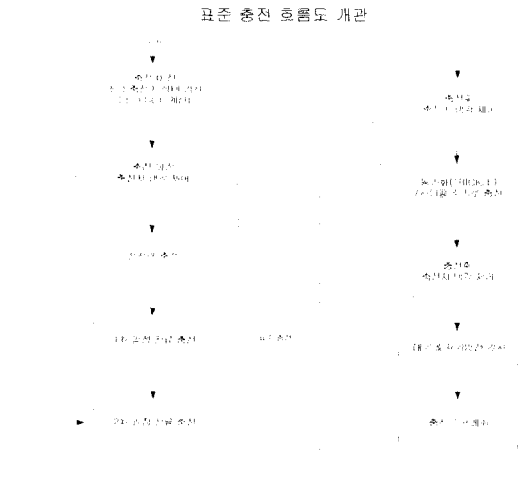
2.3.1 충전모드 제어

충전모드 제어는 정상 충전 모드와 과충전 차단 (Preventing Overcharging), Trickle/Refresh 충전으로 구성되어 있다. 이에 대해 각각 살펴보면 정상 충전 모드에서 표준 충전 흐름도는 그림 9와 같다. 그림 9에서 보듯이 초기 SOC에 따라 충전 상태가 높으면 2차 일정 전류 충전(CC2)부터 시작하고 충전 상태가 낮으면 정전력 충전(CP)부터 시작하게 되어 있다.

본 논문에 적용된 전기자동차의 충전 시스템은 용량이 입력전원에 따라 110V에서는 3.3kW이고 220V에서는 6.6kW이다. 입력 AC 전원 종류에 독립적으로 충전 제어할 수 있도록 되어 있다. 그림 10은 입력 전원에 따른 정상 충전 모드 제어에 대한 제어 흐름도이며 모드별 충전전류는 전지의 사양과 종류에 따라 다르다.

정상 충전 모드는 CP(Constant Power mode)모드, CC1(Constant Current 1mode), CC2(Constant Current 2 mode)모드로 구성되어 있다. 모드 변환은 충전전류에 대한 배터리 전압 특성을 이용하여 정확한 포인트를 계산하여 제어하게 된다. 모드 변환 전압은 충전전

류 대비 충전상태의 배터리 전압 특성을 모델링하여 제어하게 된다



배터리 온도 특성
CC2 > 0.5 차감할 때 즉, 충전이 60%부터 시작되지 않을 경우

그림 9 표준 충전 흐름도
Fig. 9 Normal Charging flow chart

Charging Control Algorithm of EV

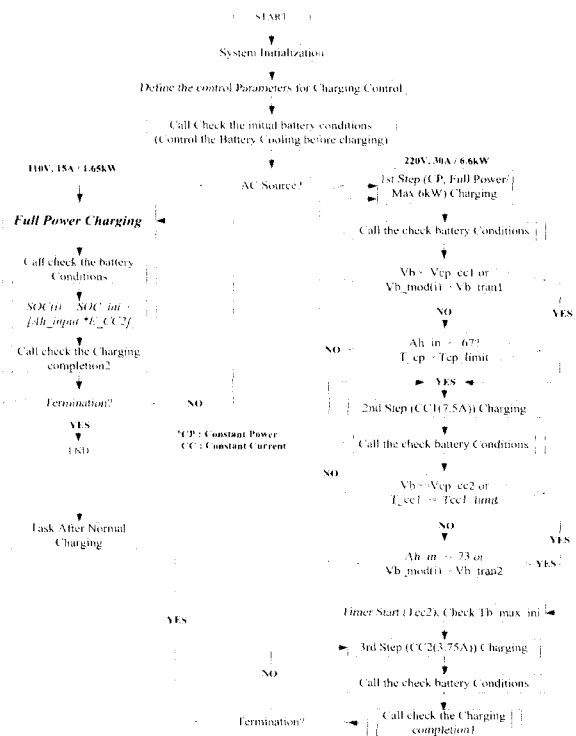


그림 10 입력 전원에 따른 정상 충전 모드 제어 흐름도
Fig. 10 Charging control algorithm dependent on AC input voltage

2.3.2 모터링모드 제어

전지관리장치는 모터링 시에 배터리를 과방전이나 고장심화 등으로 인한 각종 해로부터의 보호를 통해 배터리의 정격 수명 횡수를 유지하기 위하여 배터리 방전 전류제한 제어를 행하게 된다. 배터리 출력 제한을 결정하는 요인들을 살펴보면 다음과 같다.

① SOC(충전상태)

SOC 30~20% 감소 시 : 최대 전류 250A에서 75A로 선형적(SOC에 따라)으로 감소시킨다.

SOC 20~0% 감소 시 : 최대 전류 75A에서 20A로 선형적으로 감소시킨다.

② 방전전류에 대한 각 배터리 모듈 전압 동특성

수준 1 : 특성 모듈 전압이 SOC 10%이하 전압으로 감소 시 최대 방전가능 전류를 75A로 제한

수준 2 : 특성 모듈 전압이 SOC 5%이하 전압으로 감소 시 최대 방전가능 전류를 25A로 제한

수준 3 : 배터리 고장 발생 시 최대 방전가능 전류를 20A로 제한하고 SOC와 배터리 전압 동특성(I-V 특성)에 의한 전력제한 제어가 동시에 허용되면 제한 수준이 낮은 제한 모드가 수행된다.

Control Flow of the Battery Current Limiting

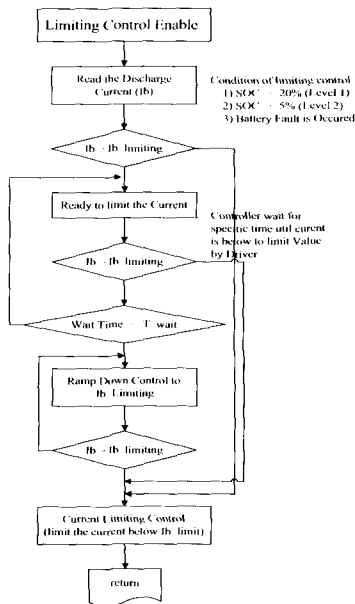


그림 11 전류 제한 제어 흐름도

Fig. 11 Overall control algorithm for discharging current limit]

그림 11은 배터리 전류 제한 제어 흐름도를 보여주고 있다.

2.4 실험 결과

그림 12는 90Ah Ni-MH 배터리 충전전류에 따른 전압 대 충전량 그래프이다. 이러한 시험 데이터를 통해 충전시 SOC 계산을 위한 Boltzman 방정식을 얻어낸다. 충전전류에 따라 Boltzman 방정식 그래프가 정해지고 이에 대한 Boltzman 방정식의 계수들이 결정된다.

그림 13은 90Ah Ni-MH 배터리에 대한 방전시 모듈별 전압분포에 대한 특성곡선이다. 이 특성곡선을 통해서 배터리의 방전량과 방전시간을 구하고 이를 Peukert 방정식 계수를 구할 때 이용하게 된다.

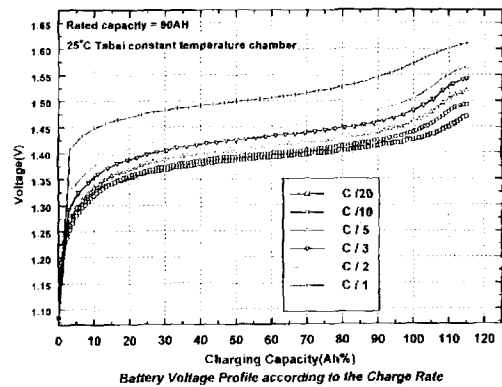


그림 12 충전 특성 곡선

Fig. 12 Charging characteristics curve

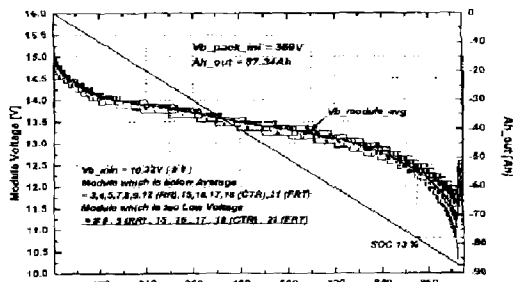


그림 13 방전 특성 곡선

Fig. 13 Discharging characteristics curve

그림 14는 SOC 96%에서 SOC 72%에 이를 때까지 행하여진 차량 주행 시험결과이다. 그림 14는 위로부터 SOC 및 배터리 전압, 총방전 전류, 소비 전력을 나타내고 있다. 주행시험을 통해 전기자동차의 에너지 소비 패턴을 알게되고 배터리전압 대 SOC 관계에 대한 자료를 가지고 본 논문에서 적용한 알고리즘을 검증할 수 있게 된다.

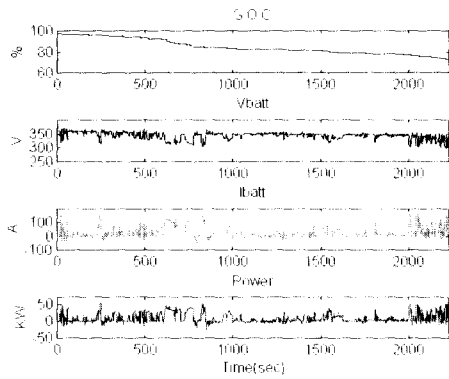


그림 14 주행시험
Fig. 14 Driving test result of EV

그림 15는 SOC 78%에서 92%에 이르는 때까지 충전 시험한 그래프이다. 이와 같은 자료를 통해서 배터리 전압 내 SOC 추정 알고리즘에 대한 검증 및 보완을 하게 되고 충전상태에 따른 적정한 충전전류를 구하게 된다.

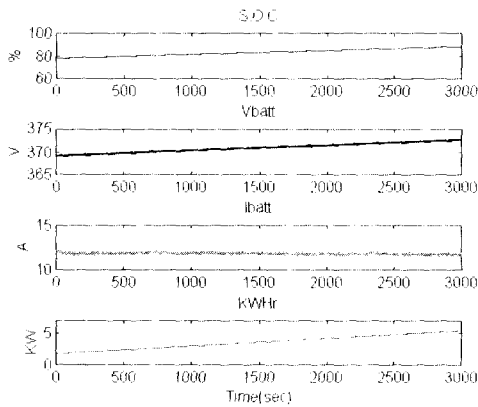


그림 15 충전시험
Fig. 15 Charging test result of EV

3. 결 론

본 연구에서는 배터리의 전압, 온도, 충전전류를 감시하여 충전상태를 계산하고 배터리를 관리하여 제어 알고리즘을 수행하는 전기자동차용 배터리 관리장치 BMS를 개발하였고 이를 이용하여 전기자동차 상태에 따라 배터리의 충전상태를 추정하는 알고리즘 및 제어 알고리즘을 개발하여 이를 EV 차량에 장착, 적용하여 주행시험 및 충전시험을 통해 알고리즘을 검증하였다.

참 고 문 헌

- [1] Hae-Woo Park, "Ni MH Battery Control Algorithm for Sportage EV BMS", Hyundai Motor, 보고서.
- [2] "전기자동차용 전지관측량계 기술개발에 관한 연구", C7 차세대자동차 기술 인차보고서, 1994.
- [3] "경량모터 및 제어기술에 관한 연구", 차세대 자동차 기술 개발사업 3단계 완료보고서, 2000. 10월.
- [4] David Linden, "Handbook of Batteries and Fuel Cells", McGraw Hill, 1984.

저 자 소 개



이재문(李在文)

1971년 1월생. 1995년 서울대 전기공학과 졸업. 1997년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1997년~현재 현대중공업 기전연구소 EV전장팀 연구원.



최욱돈(崔旭惇)

1955년 1월생. 1983년 영남대 전기공학과 졸업. 1985년 동 대학원 졸업(석사). 2001년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1985년~현재 현대중공업 기전연구소 책임연구원. EV전장팀장.



이종필(李鍾弼)

1972년 12월생. 1997년 고려대 제어계측공학과 졸업. 1999년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1997년~1999년 한국과학기술연구원(KIST) 지능제어연구센터 학생연구원. 1999년~현재 현대중공업 기전연구소 EV전장팀 연구원.



이종진(李鍾燦)

1965년 7월생. 1992년 전북대학교 전자공학과 졸업. 1992년~현재 현대중공업 기전연구소 EV전장팀 선임연구원.