

BMS 플랫폼을 이용한 SOH 예측 알고리즘 구현

배정호*, 백지국*, 장대경**
 한국전기연구원*, (주)미섬시스템**

The SOH estimation function performance test of BMS platform

Jeong-Hyo Bae*, Bai Zhiguo*, Dae-Gyeong Jang**
 Korea Electro Technology Research Institute*, Misumsystech Co., Ltd**

Abstract - 일반적으로 이차전지를 이용한 에너지 저장 시스템(ESS, Energy Storage System)과 전기 자동차(EV, Electric Vehicle)에 사용되는 전지(Battery)는 용량에 따라 직·병렬로 수십 개에서 수 만개의 배터리가 사용되기도 한다. 이러한 많은 배터리를 제어하고 관리하기 위해 필요한 것이 배터리 관리 시스템(BMS, Battery Management System)이다. 이러한 BMS는 ESS(Energy Storage System, 에너지저장시스템)의 핵심부품으로서, 관련업체에서는 새로운 기술 개발에 박차를 가하고 있다.

따라서 본 논문에서는 최근 개발되고 있는 AC 임피던스를 이용한 SOH 예측 기능을 검증할 수 있는 DSP(Digital Signal Processing) Platform 기반으로 Master-Slave 형태의 BMS를 개발하였으며, Master-Slave간에는 CAN 통신을 이용하여 제어성, 확장성을 용이하게 함으로써, 새로운 SOH 알고리즘 구현 및 성능 검증을 손 쉽게 구현할 수 있게 되었다.

1. 서 론

최근 우리나라의 전력공급 부족으로 인해, 정부와 전력 관계자들과 기업들이 에너지 저장장치(ESS)와 전기자동차(EV)를 이용한 V2G(Vehicle to Grid)에 관심을 기울이고 있다. 또한 국내의적으로 후쿠시마 원전사고와 우리나라의 9.15 정전사고 등으로 인해 더욱더 환경오염 예방과 예비력 확보에 관심을 가지게 되면서 그 동안 비니모델 창출에 어려움을 겪고 있던 ESS 및 EV 업계가 요즘 활기를 띠고 있는 상황이다. 특히, ESS는 정부가 '11.5월에 발표한 에너지저장 기술개발 및 산업화 전략(K-ESS 2020)의 후속조치로서 전력피크 대응을 위한 중대형 EES(100MW, 54MW) 실증연구에 3,000억을 투입하고, 2012년에 이어 2013년도 '공공기관 ESS 시범보급사업'을 추진하고 있으며, 2015년부터 구축될 스마트그리드 확산사업에도 ESS가 포함되어 추진된다[1][2].

한편, ESS는 이차전지(Battery), BMS(Battery Management System), 양방향 PCS(Power Conditioning System), PMS(Power Management System)으로 구성되며, 이 중 BMS는 핵심부품이다.

따라서, 최근 관련 기업과 연구계에서는 BMS의 기술고도화를 위해 다양하게 연구개발하고 있으며, 주로 SOC(State of Charge), SOH(State of Health) 그리고 다양한 셀 밸런싱(Cell Balancing) 기법에 대하여 관심을 기울이고 있다.

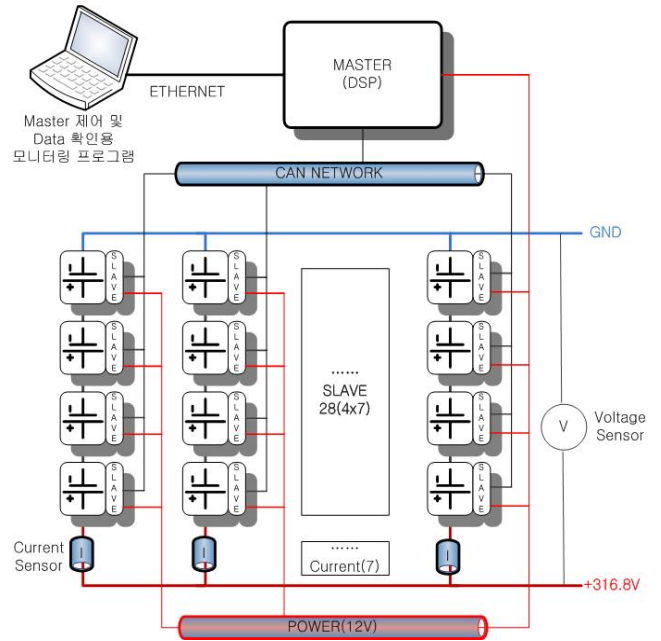
따라서 본 논문에서는 다양한 알고리즘을 구현할 수 있는 DSP(Digital Signal Processor) 기반 플랫폼을 개발하였다. 여기서는 AC 임피던스를 이용한 SOH(잔존 수명) 예측 알고리즘 구현 사례와 플랫폼의 개략적인 기능을 소개한다.

2. 본 론

2.1 시스템 개요

본 시스템은 DSP기반의 BMS 제어 시스템으로 Rack형태로 제작되었으며, 세부 구성품으로 Master시스템, Slave 시스템, 모니터링용 PC, Battery Pack 그리고 부하 장치로 되어 있다. 모든 기능들은 모듈형태로 확장이 가능하도록 제작하였다.

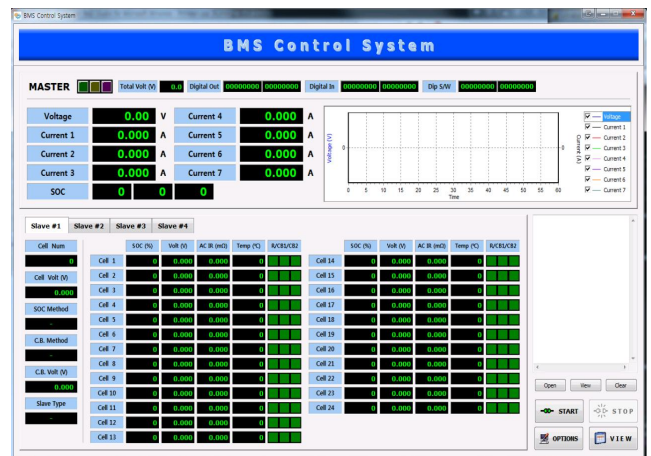
<그림 1>은 본 시스템의 개략도를 나타내며, MASTER(1), SLAVE(16) 세트가 동시에 모니터링 제어 가능하도록 제작하였다.



<그림 1> 시스템 구성도

2.2 Master 제어 Data 분석 및 모니터 프로그램

<그림2>는 Master 제어 및 Data 확인용 모니터 프로그램 형상을 나타내며, 프로그램 구성은 Data를 취득하여 보여주는 전면창이 구성되어 있고, Master의 전압(1),전류(7)는 실시간으로 저장 및 그래프로 나타낼 수 있다. 그리고, Slave의 각 Cell별 Data와 제어 비트들은 순시값으로 보여주며, 선택되어진 셀의 Data는 상세한 SOC, 전압, AC IR 및 온도 값을 나타낼 수 있다.



<그림 2> 분석 프로그램

Master 제어 및 Data 확인용 모니터 프로그램에서 Cell의 전압은 1mV 단위, 전류도 1mA 단위 까지 표시 되며, 온도는 1℃와 SOC정보는 1% 단위로 표시된다. 모니터링 하고자 하는 Slave DATA는 프로그램 상에서 선택하여 화면에 나타내며, 모니터링되고 있는 전체 Cell 전압값 중 최소값, 평균값, 최대값은 따로 표시가능하다.

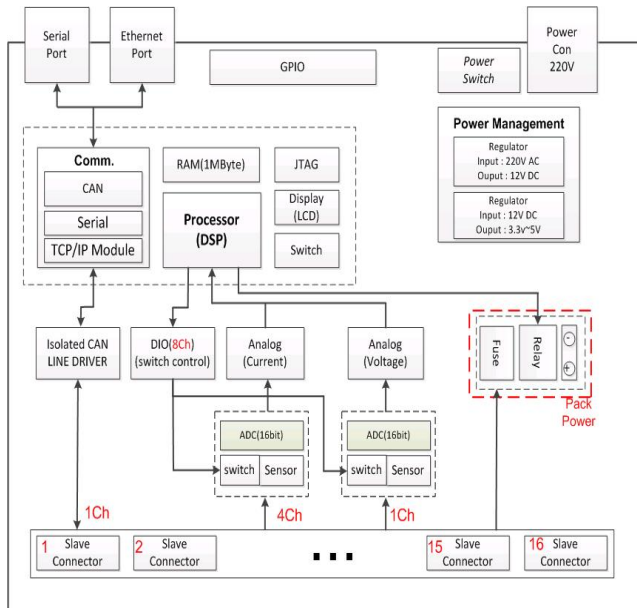
Master 및 Slave의 제어 함수 설정은 프로그램에 별도의 OPTION 창에서 설정하고, 모든 실시간 Data 및 제어 상태는 Excel 파일형식으로 기록할 수 있고, 실험 완료 후 또는 실험중에도 저장/확인 가능하다.

운용 프로그램의 기능을 정리하면 아래와 같다.

- ▷ Master data display 기능
- ▷ Master setting 기능
- ▷ Master 제어 및 설정 기능
- ▷ Slave data(셀별 온도, SOC, 전압) display 기능
- ▷ Slave setting(셀별 초기SOC, 전압, 용량) 기능
- ▷ Master Data 실시간 graph-display 및 저장 기능
- ▷ 강제 SOC 초기화 명령 기능
- ▷ TCP/IP 설정 기능

2.3 Master

Master는 내부전원과 Slave connector에 연결되는 Slave의 Output PW와 isolation 유지해야 하며 각 센서들의 동작여부를 제어할 수 있도록 설계되었다. 그리고 센서 및 Relay는 각 직렬 모듈에서는 5kW급(316.8V/20A)에서 정상동작하도록 제작하였다.



〈그림 3〉 Master 기능별 블록도

〈그림 3〉은 Master의 기능별 블록도를 나타내며, 각각의 기능을 정리하면 아래와 같다.

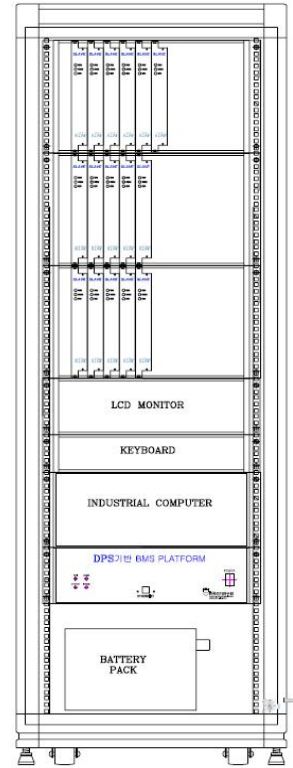
- ▷ Main processor 초기화 기능
- ▷ 각종 DIO 및 스위치 제어 기능
- ▷ TCP/IP 통신 제어 기능
- ▷ RS-232 및 CAN 통신 제어 기능
- ▷ ADC 제어 및 전류/전압 측정 기능
- ▷ 그 외 HAL(Hardware Abstract Layer) 라이브러리
 - 타이머, SPI, Clock control, GPIO 제어 등
- ▷ SoC 예측 알고리즘(전류적산법을 이용)
- ▷ SoC 예측 알고리즘 함수 선택 기능
- ▷ 상용 BMS Slave와 통신 및 제어 기능
- ▷ Slave 통신 확인하여, Shutdown 시간 확인 기능
- ▷ 강제 SOC 초기화 명령 기능
- ▷ 측정 구간별 Current 센서 사용하여 높은 정밀도 확보

2.4 Slave

Slave 시스템은 Slave 모듈이 총 10개를 하나의 시스템으로 구성되도록 하며, Slave의 보드는 탈부착 가능하도록 제작 하고, Slave 플랫폼의

형태는 19인치 Rack Case 형태로 제작하였다. 〈그림 4〉는 시스템을 장착하기 위한 Rack의 설계도를 나타낸다. 각각의 Slave는 Master와 CAN NETWORK으로 연결하여 Master에서 전달하는 명령과 설정 정보를 저장하고, Cell의 전압, 전류, 온도, AC IR 및 SOC 정보를 측정 계산하여 Master에 전달하고, SOC error율은 5% 이내로 예측하였다.

그리고 Slave는 Master로부터 전원을 공급받아 동작을 하고 외부의 배터리(Battery Cell)을 연결할 수 있는 Cell Connector가 25Ch 지원하도록 설계되었으며 Cell Connector는 직렬로 연결되어 Output Power를 출력할 수 있도록 설계되었다. 각각의 Cell의 전압 25채널, 온도 26채널을 측정하고, Cell의 AC IR을 25채널 측정하도록 제작되었다.



〈그림 4〉 시스템이 장착된 Rack의 설계도

Slave의 기능을 정리하면 아래와 같다.

- ▷ Main processor 초기화 기능
- ▷ 각종 DIO/LED/스위치 제어 기능
- ▷ RS-232 및 CAN 통신 제어 기능
- ▷ ADC 제어 및 전류/전압/온도 측정 기능
- ▷ 모듈 전체 전압 자동 측정 기능
- ▷ 강제 SOC 초기화 기능
- ▷ Battery AC/DC IR 측정 기능
- ▷ Battery Ref IR 측정 기능
- ▷ SOH용 AC Impedance 측정 기능
- ▷ AC IR 값을 이용한 수명 예측기능
- ▷ Soft Adaptive Cell Balancing 기능
- ▷ 비상 대체 회로 전환 기능
- ▷ 단위 cell 충전 기능
- ▷ 셀밸런싱용 함수 선택 기능
- ▷ 그 외 HAL(Hardware Abstract Layer) 라이브러리
 - 타이머, SPI, Clock control, GPIO 제어 등

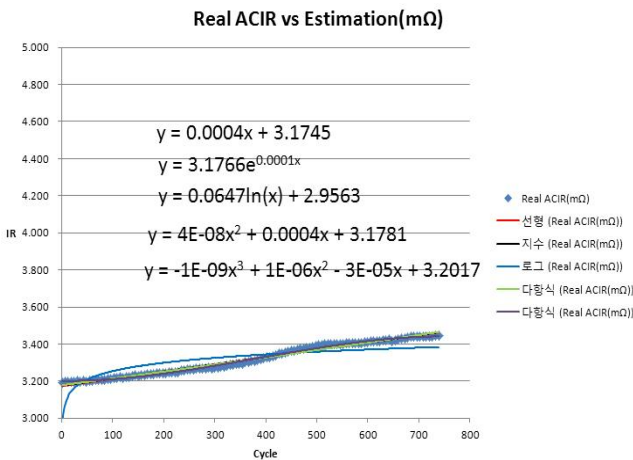
3. 잔존수명(SOH) 예측 알고리즘 구현

본 연구에서 개발한 완제품인 Master와 Slave 간의 통신 Test를 포함하여, PC운용 프로그램에서 이용하여 Slave에 연결된 Cell 데이터를 수신하는 실험을 하였다. 〈그림 5〉는 BMS Platform의 전체 실험 장면을 나타내며, BMS Master, Slave Rack, PC 모니터, 배터리 팩, 전기 충/방전시스템 등으로 구성되어 있다. 본 연구에서는 우선 배터리의 각 셀에 대한 AC IR 값을 측정하고, 이 값을 이용하여 잔존수명을 예측하였다.

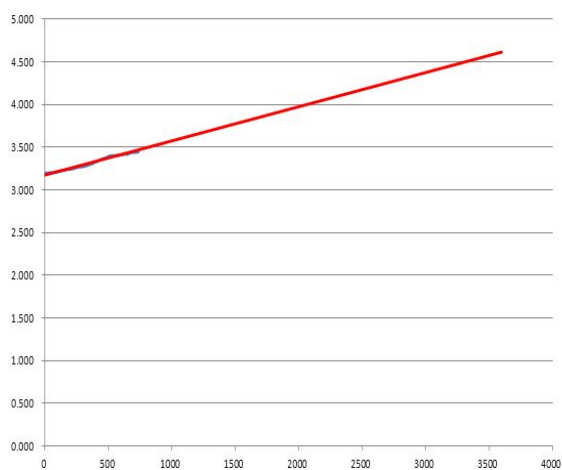


〈그림 5〉 BMS Platform의 전체 사진

본 연구에서는 배터리 수명 예측(SOH) 하기 위하여 총 522Cycle의 ACIR 값을 측정하였으며, 이 값을 이용하여 Extrapolation 방법으로 가장 에러가 적은 SOH예측 수식을 도출하였다. 〈그림 6〉은 ACIR 측정값과 예측식의 수치를 비교한 그림이다. 그림에서와 같이 ACIR 측정값과 예측 수식간의 에러율은 각각, 선형: 0.32%, 지수: 0.53%, 로그: 1%, 2차 다항식 0.14%, 3차 다항식 0.25%으로 분석되었다. 따라서 2차 다항식 수식의 예측에러가 제일 낮은 분석되었으며, 이 2차 다항식의 예측식으로 3600Cycles(약 10년동안)까지 ACIR 예측한 그림은 〈그림 7〉과 같다.



〈그림 6〉 ACIR 측정 값 Vs 예측 수식 값



〈그림 7〉 도출수식으로 3600Cycles 까지 ACIR 값 예측 (Blue: Real ACIR 값, Red: 예측 ACIR 값)

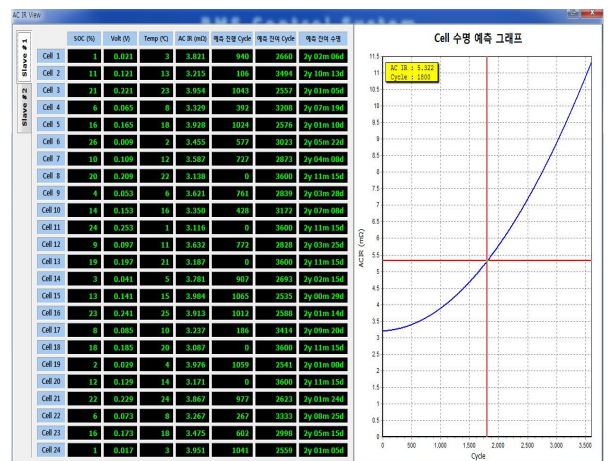
본 연구에서는 실시간으로 〈그림 8〉의 실제 배터리 Pack을 이용하여 각 Cell의 AC IR 값을 측정하고, 이 값에 대한 잔존수명을 예측알고리즘을 이용하여 〈그림 9〉와 같이 그래프로 표시하였다.



〈그림 8〉 S18650 Battery Pack 사진

우선 〈그림 9〉의 화면 좌측부분에는 BMS에서 전송된 데이터들을 이용하여 각 Cell의 SOC, 전압, 온도, AC IR 측정값 및 AC IR 측정값과 AC IR 특성 수식을 이용하여 예측된 현재의 총방전 진행 cycle 및 예측 잔여 cycle, 그리고 이에 따른 예측 잔여 수명을 “0년 0월 0일” 형태로 보여주고 있다. 이는 설정되어진 Cell의 전체 총방전 사이클 및 Cell의 전체 수명을 이용하여 계산되어진다. 즉 프로그램 화면의 우측에 표시된, AC IR 특성 수식을 이용한 “Cell 수명 예측 그래프”를 도시하고, 측정된 AC IR값에 따른 Cell의 현재 총방전 진행 사이클을 예측하게 되면, 잔여 사이클 및 잔여 수명이 계산된다.

우측의 “Cell 수명 예측 그래프”는 Cell의 AC IR값과 Cell 총방전 사이클의 상관관계를 보여주고 있다. 이 그래프는 실제 총방전 사이클에 따른 AC IR값을 측정하여 예측된 다항식 형태의 특성 수식을 이용한 것으로, 측정된 AC IR값에 따른 Cell의 현재 총방전 진행 사이클을 예측할 수 있으며, 마우스 커서를 이용하여 원하는 지점의 총방전 사이클에 따른 예측 AC IR값이나, 측정된 AC IR값에 따른 예측된 총방전 사이클을 살펴볼 수 있다. 또한 프로그램 화면 좌측의 “Cell 1”, “Cell 2” 등의 라벨을 마우스로 선택시에는 해당 Cell에 대한 측정된 AC IR값과 그에 따른 예측 진행 총방전 사이클의 위치로 좌표커서가 이동되어 표시되도록 구성되어 있다.



〈그림 9〉 예측 수식을 이용한 Cell 수명예측 화면

6. 결 론

본 논문에서는 DSP 기반의 BMS 플랫폼을 개발하였다. 그리고 AC 임피던스를 이용한 SOH 예측 알고리즘 구현 및 검증 시험을 실행하였다. ACIR 예측 알고리즘의 검증시험 한 결과, 예측오차율은 0.14%였으며, 본 시스템을 이용하여 다양한 값들을 실시간으로 볼수 있도록 제작되었다.

본 시스템은 향후 BMS의 다양한 SOH 뿐만 아니라, SOC 및 Cell

balancing 알고리즘 개발 및 검증에 활용 될 것이며, BMS의 성능개선을 위한 플랫폼으로 활용될 것이다.

향후, BMS 시스템의 신뢰성을 확보하기 위해, 현재 단순한 배터리 잔존량 예측 기법과 수명 예측 기법에 벗어나 새로운 기술을 개발하는데 본 시스템을 활용할 예정이다.

[Acknowledgment]

본 논문은 주관부처가 중소기업청이며 출연(연)-중소기업 융복합기술 개발사업 (2013.07.01~2014.06.30)의 성과에 의한 것임을 밝혀 둔다.

[참 고 문 헌]

- [1] D. Rastler, "Electricity Energy Storage Technology Options, A White Paper Primer on Applications, Costs, and Benefits", EPRI, 2010. 12.
- [2] "EPRI-DOE Handbook of Energy Storage for Transmission and Distribution Applications", EPRI Palo Alto CA, 2003.