

하이브리드 선박용 리튬 배터리의 저가형 감시시스템 구현

권혁주¹ · 김민권² · 이성근[†]

(Received December 8, 2015 ; Revised December 21, 2015 ; Accepted December 23, 2015)

Low price type inspection and monitoring system of lithium ion batteries for hybrid vessels

Hyuk-joo Kwon¹ · Min-kwon Kim² · Sung-geun Lee[†]

요약: 배터리는 휴대폰, 전기자동차, 무인잠수정 등과 같은 분야에서는 주 동력원으로 사용되고, 일반 자동차에서는 시동기 또는 램프구동용으로 사용되며, 일반 선박에서는 비상전원으로 사용되고 있다. 2차 전지로는 납축전지와 리튬이온 배터리를 많이 사용하고 있으며, 납축전지는 가격이 비교적 저렴하고 안전하다. 리튬이온전지는 에너지 밀도가 높고 출력이 우수하며 수명이 긴 장점이 있으나 공기 중의 수분과 반응하여 폭발의 위험성을 가지고 있다. 그러나 최근에는 방수, 방염, 방진 기술의 발달에 힘입어 리튬배터리의 사용이 증가하고 있고, 특히 하이브리드 선박 및 전기추진 선박 등의 주 동력원으로 사용될 만큼 그 사용범위가 점점 넓어지고 있으므로 좀 더 엄격한 배터리의 관리가 필요하다. 하이브리드 선박에서는 500kWh 이상의 대용량 동력원을 만들기 위하여 셀(Cell) 단위로 이루어진 수십 개의 리튬배터리가 들어 있는 팩들로 접속이 된 전원을 사용한다. 따라서 배터리 점검에 필요한 검출 전압, 전류 및 온도 데이터들을 관리용 서버로 보내 주는 유선 점검 및 감시시스템을 구현하는 데에는 많은 전선과 통신 모듈이 필요하다. 본 논문에서는 직렬통신 모듈보다 가격이 저렴하고 전선을 사용하지 않는 저 전력 블루투스(Bluetooth low energy, BLE) 무선통신 모듈과 전력선 모뎀을 사용하여 하이브리드 선박용 리튬배터리 저가형 점검 및 감시시스템을 구현하고자 한다. 배터리의 점검요소에는 잔존용량(State of charge, SOC)과 잔존수명(State of health, SOH)이 있으며, 제안한 시스템은 이들을 규칙적으로 점검하여 배터리의 수명 예측과 예방 정비를 할 수 있기 때문에 안전사고를 방지할 수 있을 것으로 전망된다.

주제어: 리튬이온 배터리, 저 전력 블루투스, 점검 및 감시시스템, 잔존 용량, 잔존 수명

Abstract: Batteries are used for main power engine in the fields such as mobiles, electric vehicles and unmanned submarines, for starter and lamp driver in general automotive, for emergency electric source in ship. These days, lead-acid and the lithium ion batteries are increasingly used in the fields of the secondary battery, and the lead-acid battery has a low price and safety comparatively, The lithium ion battery has a high energy density, excellent output characteristics and long life, whereas it has the risk of explosion by reacting with moisture in the air. But Recently, due to the development of waterproof, fireproof, dustproof technology, lithium batteries are widely used, particularly, because their usages are getting wider enough to be used as a power source for hybrid ship and electric propulsion ship, it is necessary to manage more strictly. Hybrid ship has power supply units connected to the packets to produce more than 500kWh large power source, and therefore, A number of the communication modules and wires need to implement the wire inspection and monitor system(WIIMS) that allows monitoring server to transmit detecting voltage, current and temperature data, which is required for the management of the batteries. This paper implements a low price type wireless inspection and monitoring system(WILIMS) of the lithium ion battery for hybrid vessels using BLE wireless communication modules and power line modem(PLM), which have the advantages of low price, no electric lines compared to serial communication inspection systems(SCIS). There are state of charge(SOC), state of health(SOH) in inspection parts of batteries, and proposed system will be able to prevent safety accidents because it allows us to predict life time and make a preventive maintenance by checking them at regular intervals.

Keywords: Lithium ion battery, Bluetooth low energy, Inspection and monitoring system, State of charge, State of health

1 서론

충전과 방전을 반복하는 2차 전지로는 납축 전지와 리튬

[†] Corresponding Author (ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8655-2591>): Division of Electrical and Electronics Engineering, Korea Maritime And Ocean University, 727, Taejong-ro, Yeongdo-gu, Busan 49112, Korea, E-mail: sglee48@kmoou.ac.kr, Tel: 051-410-4821

¹ Electrical and Electronics Engineering, Korea Maritime And Ocean University, E-mail: khj586@naver.com, Tel: 051-410-4891

² Electrical and Electronics Engineering, Korea Maritime And Ocean University, E-mail: rlaakdrndl@hanmail.net, Tel: 051-410-4891

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

이온 전지가 많이 사용된다. 리튬 이온 전지는 물에 접촉할 경우 폭발할 가능성이 있어 해상에서 사용하기 어렵다는 이유로 선박에서는 납축전지를 많이 사용하고 있다. 그러나 방수, 방염, 방진 기술이 발달함에 따라서 리튬 배터리를 선박용 배터리로 판매하는 회사들이 점점 늘어나고 있는 추세이다. 최근에 LG 화학이 노르웨이 국적의 아이테스빅 사의 하이브리드 선박인 바이킹 쿤호에 650kWh 리튬이온 배터리를 공급하면서 선박 배터리 시장에 진출하였다 [1][2]. 리튬 배터리의 경우 납축전지에 비해 수명이 길고 충·방전 사이클에 강하며 리튬배터리에 비해 넓은 사용 온도 범위를 가지고 있으며 자가 방전을 또한 낮다[3].

하이브리드 선박 및 전기추진 선박 등의 주 동력원으로 사용될 만큼 배터리의 사용범위가 점점 넓어지면서 엄격한 관리가 필요하다. 특히 수십 개의 셀 전지가 하나의 팩으로 접속되고, 이 팩이 직렬 또는 병렬로 접속되어 전체 동력원을 구성하는 리튬 이온 전지는 각 셀 전지의 상태를 상시 관리하는 것이 무엇보다 중요하다. 이러한 관리를 위해서 셀 밸런싱 회로와 과전류 보호회로 등이 장착되어야 하며, 외부 점검을 위해서는 온도, 전압, 전류 등의 점검요소들을 검출하여야 한다. 점검요소들을 검출하여 이들 데이터를 서버로 보내는 점검시스템은 유선 또는 무선에 의해 구현이 가능하나 유선방식보다는 무선방식이 유리하다. Table 1은 65개의 팩을 구성할 경우(이때 칩은 65개와 수신부 칩 1개를 합하여 66개입) 유선(RS485)과 무선(BLE) 점검시스템의 제작 단가를 비교한 것이다.

Table 1: Cost comparison between wire and wireless inspection systems(unit :1,000₩)

Type	Items	specification	Price
Wire	Wires	4m*65pack*1₩ = 260₩	999₩
	Connector	77₩*1EA = 77₩	
	Chip	7₩*66EA = 462₩	
	Cable connection	100₩/(day.person)* 2days =200₩	
Wire-less	wire	1m*65pack*1₩ = 65₩	395₩
	Connector	No need	
	Chip	5₩*66EA =330₩	
	Cable connection	No need	

유선점검 시에는 직렬통신용 칩에 소요되는 비용과 케이블 연결 비용에 금액이 더 필요로 하며, 무선점검 시에는 전용 칩 가격이 직렬통신 칩에 비해 저렴하고, 커넥터와 케이블 연결비용이 들지 않아 전체적으로 무선점검 방식이 유선점검 방식의 약 39.5%의 예산으로 설치가 가능함을 알 수가 있다.

본 논문에서는 BLE 무선통신 모듈과 선내 전력선을 사용하여 저가형 하이브리드 선박용 리튬배터리 무선 감시시스템을 구현하고자 한다. 배터리의 점검요소에는 잔존용량(State of charge, SOC)과 잔존수명(State of health, SOH)이

있으며, 이들 점검요소를 무선통신 방식으로 추정함으로써 선교 또는 기관실 등의 원거리에서 배터리의 수명을 예측하고, 예방 정비가 가능한 감시시스템을 구현하고자 한다.

2. 배터리 관련 이론

2.1 C rate 및 SOC(State of charge)

C-rate는 셀의 용량만큼의 전류량이다. 10Ah의 용량의 배터리에 기준 1 C-rate(이후 C로 표기한다)는 10A가 되며 2C는 20Ah가 된다. 이는 방전과 충전시 모두 적용이 되는 단위이며 배터리 제조사는 최대 충전전류와 최대 방전전류를 A(Ampere) 또는 C-rate Ampere로 표시한다.

리튬 계열의 이차전지는 여러 번의 충·방전을 수행할 수 있으며, 그에 따라 서로 다른 에너지 저장 상태를 가질 수 있다.

배터리의 에너지 저장능력, 즉 용량(Capacity)이란 배터리의 완전 충전 상태에서 완전 방전상태까지 일정한 전류를 방전했을 때 방전 전하의 총량으로 정의된다.

완전 충전 상태란 일정 전압으로 충전하여 더 이상 전류가 흐르지 않는 상태로 정의한다. 완전 방전 상태는 배터리가 손상되지 않는 범위 안에서 방전 가능한 전하를 모두 배출한 상태로 정의한다.

식 (1)은 배터리의 현재 충전상태를 나타낸 수식이며, SOC_{batt0} 는 이전의 배터리 SOC 상태를 나타내고, 식의 후단은 방전 전류를 적분한 값을 방전용량으로 나눈 식이다[4][5].

$$SOC_{Batt} = SOC_{Batt0} - \frac{\int_0^t i_{bat} dt}{Q_{discharge}} \quad (1)$$

2.2 SOH(State of health)

SOH는 배터리의 잔존수명을 %로 나타낸 것을 말한다. 배터리의 수명과 노화과정은 배터리 기술의 중요한 문제 중 하나이다. 배터리는 전기화학적 과정을 거쳐 전력을 저장, 전달하며 노화과정은 화학적, 전기적 특성 등의 다양한 요소로부터 영향을 받는다.

일반적으로 SOH를 통해 노화 정도를 표시하지만, SOH를 정확히 측정, 분석하는 것은 매우 어렵다. 배터리의 최대 용량은 SOH와 매우 밀접하게 관련되어 있으며 최대 용량의 80%까지 배터리 용량이 감소되면 배터리는 Dead상태로 고려된다. 또한 배터리는 충·방전을 반복하면서 성능이 저하되고, 수명이 단축되며, 불안정한 특성 들이 나타난다[6].

Figure 1은 Randles의 배터리 1차 모델이다. Randles 모델은 배터리 내부저항 R1, 충·방전 전류에 의한 이온화 손실 저항 R2 그리고 2중층의 커패시턴스 C로 구성된다. RC 병렬회로에서 충·방전 전류에 대한 배터리 단자 전압의 동적 응답은 Figure 2와 같고, $V_{R1} = R_1 I$, $V_{R2} = R_2 I$, 응답식은 $V_e = R_2 I \exp(-\frac{1}{R_2 C} t)$ 로 표현된다[7].

R1은 부하 연결 시 최초로 전압강하가 일어나는 지점의 전압을 측정하여 전류로 나뉜 저항 값을 구하고 화학특성에 따른 저항 값은 최초 전압강하가 시작되고 그 이후의 전압 값과 시간을 가지고 계산을 한다. 해당 값을 이용하여 R1과 R2를 계산하고 임피던스 계산을 위해 C를 구하면 된다.

SOH의 추정은 이 이론 모델을 이용하며, 내부저항과 임피던스를 계산하고 계산된 내부 저항 값이 증가하면 배터리 수명이 감소된다[7][8].

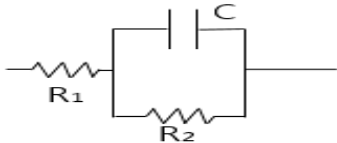


Figure 1: Randles model of battery

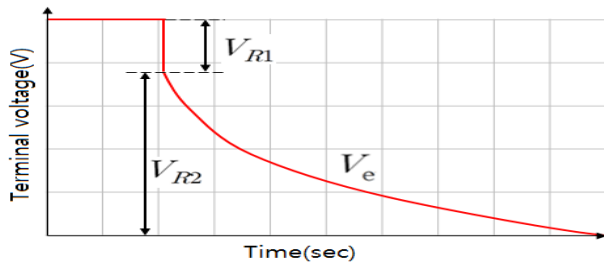


Figure 2: A graph of R_1, R_2 estimation using OCV

3. 무선 점검 및 감시시스템 구성

3.1 하드웨어 구성

Figure 3은 배터리 무선 점검 및 감시시스템(WILIMS)의 전체 구성도이다.

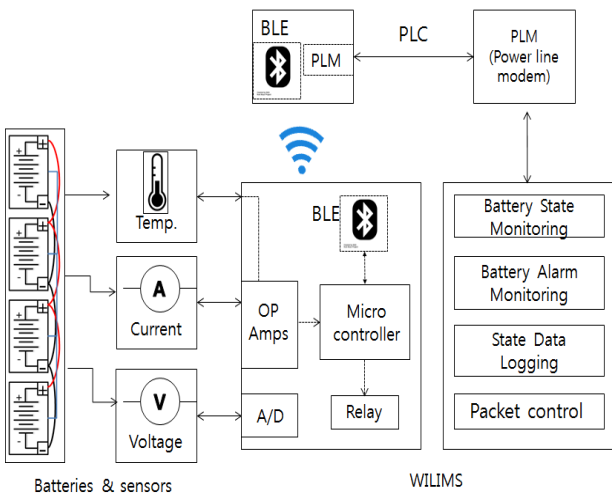


Figure 3: Total configuration of WILIMS

배터리로부터 검출된 온도, 전압, 전류 등을 검출하여 BLE 모듈을 이용한 무선통신방식에 의해 전력선 모뎀으로 보내고, 전력선 통신에 의해 데이터러 있는 감시

용 서버로 전송하게 된다.

BLE는 전력소모가 매우 적은 무선 통신 모듈이며, 내부에 8051 CPU를 장착하고 있다.

전력선통신은 전기를 공급하는 220V, 60Hz 선내 전력선에 배터리 점검요소가 담긴 고주파 정보신호를 중첩시켜 중첩된 신호를 전송하고 다시 복조하는 통신기술이며, 수신 시 저주파 대역의 전력은 커패시터에 의해 차단되고, 고주파 대역에서의 정보신호만 통과하게 된다.

배터리 점검 요소인 SOC와 SOH는 센서로부터 검출된 온도, 전류, 전압으로부터 연산하여 추정하게 된다. 검출회로는 전압을 계측하는 A/D컨버터와 전류를 측정하기 위한 Shunt 저항으로 구성하였고, SOH 추정에 필요한 전압강하를 확인하기 위하여 부하회로와 릴레이를 추가로 접속하였다.

3.2 소프트웨어 구성

소프트웨어의 전체구성은 SOC 추정, SOH추정, BLE 통신의 3 종류로 나눌 수 있다. SOC 추정에 프로세스의 대부분의 역할을 수행시키고 남은 부분에서 통신과 연산 및 SOH 추정을 진행하였다.

Figure 4은 SOC(좌측)와 SOH(우측)를 추정하는 순서도를 나타내었다.

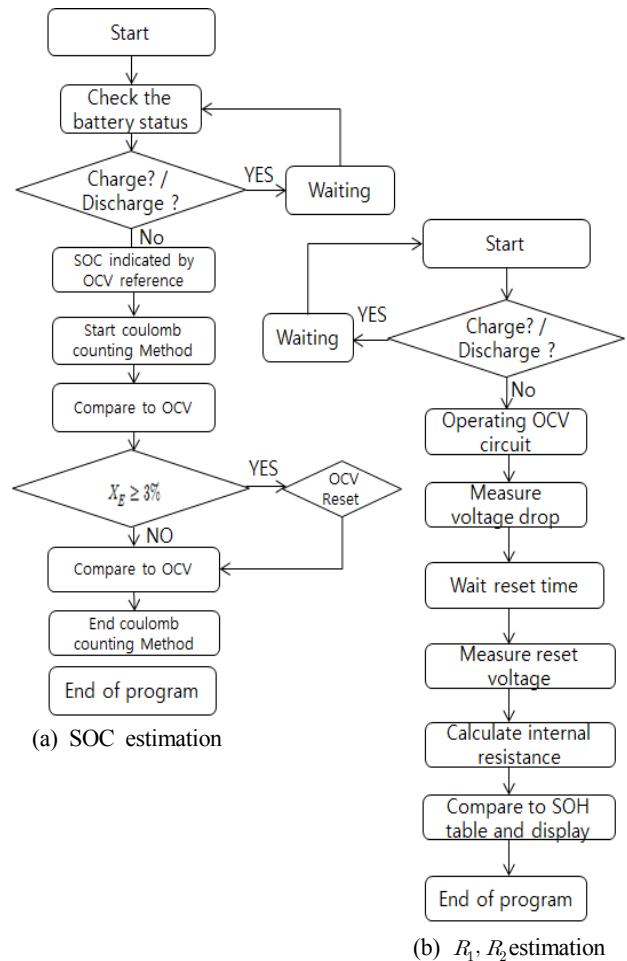


Figure 4: Estimation of SOC and SOH

SOC 추정 방법은 전류적산법과 OCV(Open circuit voltage) 리셋을 이용하는 방법을 사용하였다. 전류적산을 위해서는 빠른 연산이 필요하기 때문에 10Hz 단위의 대부분의 배터리 데이터를 수집하고 수집한 배터리 데이터를 이용하여 연산을 실시하였다. OCV는 무부하시의 배터리 단자전압을 나타내는 것으로서, 완전 충전을 100%로 보고, 완전 방전을 0%로 하여 시간에 따라 SOC를 설정하고, 그 SOC에 맞는 OCV를 충·방전 실험을 통해 Lookup 테이블로 작성해 두었으며, OCV 리셋 방법은 이 자료를 이용하는 방식이다.

본 논문에서는 전류적산법과 OCV 리셋 방법을 혼용하였다. INA226 소자를 이용한 전류적산법에 의해 추정된 SOC 값과 Lookup 테이블에 있는 OCV 값에 따른 SOC 값을 비교하여 SOC 오차율이 3%가 넘을 경우 OCV를 기준으로 SOC 값을 수정하였다[4]-[8].

SOH 측정은 무부하 상태에서 수행하며, 충전과 방전이 이루어지지 않는 시간에 OCV를 측정하기 위한 부하 동작 회로가 동작하고 동작 전과 동작 후의 전압강하 값을 계산한다. 전압강하 후 약 5분간의 휴지시간을 산정하고 5분 이후에 전압을 측정하여 배터리의 방전량을 계산한다.

4. 실험 및 고찰

Figure 5는 실험장치이다. ODA사에서 판매하는 전원 공급기(OPE-20010)와 전차로드(LP900A)를 이용하여 배터리의 충전과 방전을 진행하였고, 배터리의 데이터는 NI사의 USB-6001모듈을 사용하여 측정하는 동시에 NI사의 Labview 프로그램을 이용하여 원격으로 모니터링 하였다.

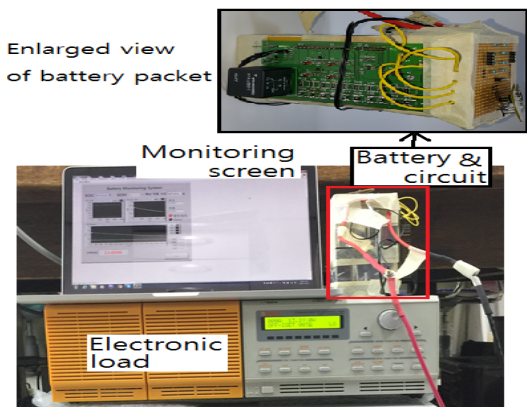


Figure 5: Overall view of experimental devices

Figure 6은 Figure 4에서의 알고리즘을 이용하여 배터리의 방전 시 배터리의 전압(그래프 실선, 좌측 세로축)과 SOC(그래프 점선, 우측 세로축)를 추정한 그래프이다. SOC가 100%에서 약 75%까지 방전되는 현상을 보여주고 있으며, 75%일 때의 OCV는 약 13.35V로 나타났다. 여기서 SOC 연산 오차가 나타날 수 있는 데, 이는 전류 적산 시에 발생할 수 있는 연산 오차와 INA226 소자가 전류를 검출할 때 발생하는 측정오차 등이 포함된 값으로 추정된다.

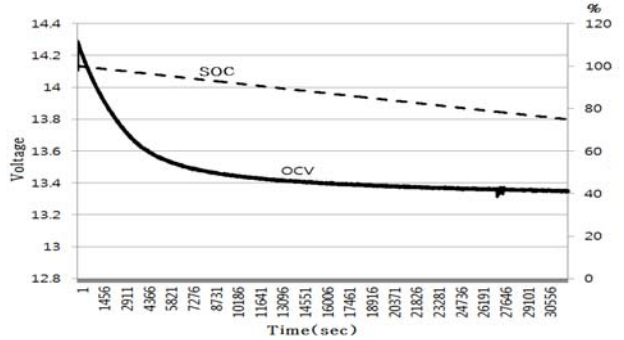


Figure 6: SOC Estimation

Figure 7은 노화시킨 배터리의 셀 별 SOH 데이터를 측정 한 그래프이다. cell 1~4번에 적용한 방전 횟수는 Table 2와 같다. 배터리를 노화상태로 만들기 위하여 각 셀별로 1C 상태로 배터리의 충·방전을 진행하다가, Cell 4의 경우에만 3C로 충·방전을 50회 추가시켰다.

Cell 1은 충·방전 횟수를 가장 작게 하였을 경우에 해당되므로 내부 저항이 가장 낮고, Cell 4의 경우에는 내부 저항 값이 상승함을 알 수 있다. 즉 Cell 1은 노화가 덜된 것이고, Cell 4는 노화가 많이 진행된 것이다. 본 논문에서 사용한 배터리는 수명이 총 방전횟수가 1000회인 제품이기 때문에 1000회 방전시를 SOH 0%로 잡으면 Cell 1~Cell 4까지의 SOH 값은 Table 2와 같이 정의된다.

그림7은 방전횟수를 조정하여 배터리의 노화를 달리함으로써 등가저항 R1, R2를 측정 한 것이다. 그 결과 노화가 진행될수록 각 내부 저항 값이 높아짐을 알 수가 있고 동시에 SOH 값은 감소함을 알 수가 있다.

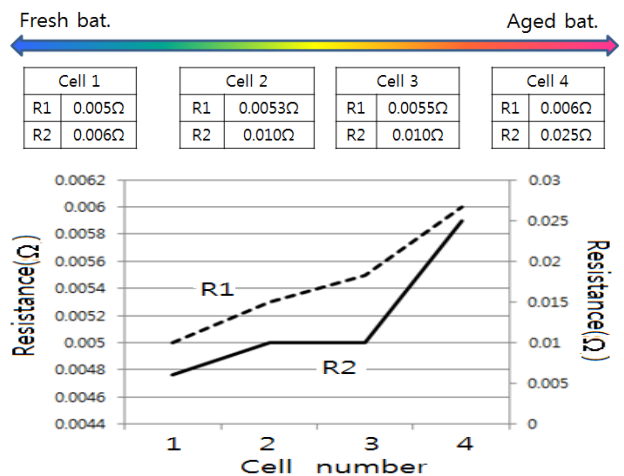


Figure 7: R₁, R₂ estimation using OCV

Table 2: SOH estimation according to the discharging count of batteries

Cell No.	Discharging count	SOH value
Cell 1	150	85%
Cell 2	350	65%
Cell 3	350	65%
Cell 4	400	Below 45%

Figure 8은 Cell 1~Cell 4까지 노화가 서로 다른, 즉 SOH가 서로 다른 4개의 배터리를 직렬로 접속하여 동일한 방전을 시켰을 때의 방전 전압을 나타낸 그래프이다.

Cell 1의 그래프는 가장 노화가 많이 된 Table 2의 Cell 4를 테스트 했을 때 나타난 그림이며, 노화가 진행된 것일수록 내부 저항 값이 크기 때문에 초기 충전 값이 가장 큰 4.25V까지 증가하는 것을 볼 수 있으나 방전이 시작되고 나면 급격한 전압 강하를 확인 할 수 있다. Cell 1의 경우 고속 노화를 위하여 3C로 충·방전을 한 것이 급격한 저항 값 상승의 원인이 된 것으로 예상된다.

Cell 2-Cell 4는 노화가 적게 진행된 것이므로 단자 전압이 매우 낮고 완만한 방전 특성을 보이고 있다.

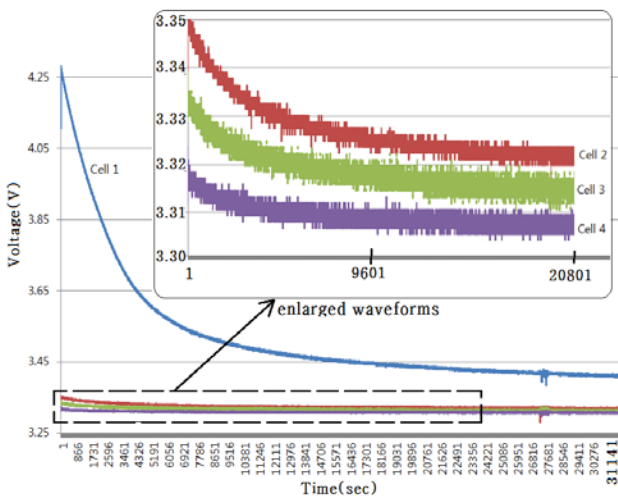


Figure 8: Batteries states after aging process

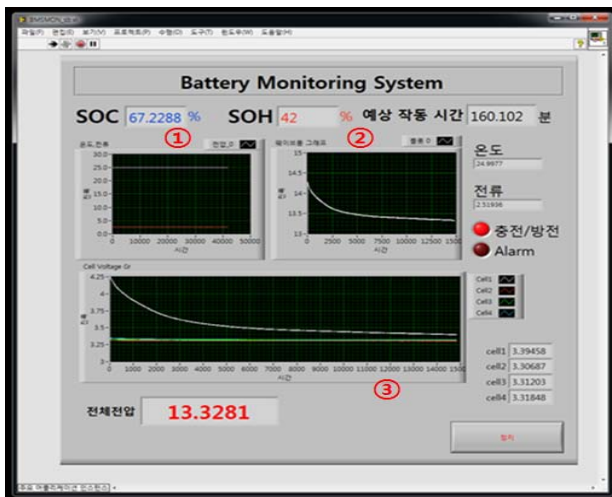


Figure 9: The monitor screen of WILIMS

Figure 9은 배터리 점검시스템의 모니터링 화면이다. 배터리의 SOC, SOH 등을 표시하고, 온도와 전류를 표시하며, 전압의 상한 및 하한 도달시의 Alarm 기능 및 팩과 셀별 전압 그래프 등을 표시하고 있다.

①번 그래프는 전류와 온도를 표시하고, ②번 그래프에

서 팩 전압을 이용하여 알람 및 배터리 상태를 확인하며, 셀 별 전압을 이용하여 SOC를 측정하였다. ③번 그래프는 SOH를 측정하는 그래프이며 가장 낮은 SOH값을 SOH값으로 표시하도록 하였다. 예를 들어 ③번 그래프의 1번 셀의 전압은 정상시는 높으나 방전이 진행이 되면 급격한 전압 강하가 진행된다.

5. 결 론

이 논문은 배터리의 점검 상태를 원격지에서 감시하기 위하여 저가형 무선통신 점검시스템을 구현하였다. 무선통신 모듈인 BLE 모듈을 이용하여 SOC, SOH 등의 배터리 점검요소들을 검출하여 이를 선내에 매설된 전력선을 통해 선내의 먼 곳에 있는 서버로 전송하는 시스템을 구성하였다. 이와 같은 시스템을 구성하여 실험을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. RS485 유선 통신에 비해 금액, 무게, 신호 절연 등의 측면에서 우수한 특성을 가진 저 전력 블루투스 BLE 모듈을 이용한 점검시스템을 구성할 수 있었다.
2. 검출된 배터리 점검 데이터들을 원격리에 있는 관리용 서버로 송신하는 시스템을 별도의 공사비용이나 공사기간이 소요되지 않는 선내 전력선을 이용함으로써 경제적 이익을 추구할 수 있었다.
3. 배터리 점검 상태를 원격으로 실시간 감시할 수 있는 시스템을 구현함으로써 배터리 잔존용량, 예상수명을 예측할 수 있었다.
4. 검출 오차, 연산 오차 등을 극복할 수 있는 센서나 CPU의 선정에 대한 정밀한 연구가 뒤따라야 할 것으로 사료되며, 향후에 제안된 점검시스템이 빈도가 점점 더 늘어날 것으로 전망되는 대형 하이브리드 선박과 전기추진 선박에 적용이 가능할 것으로 사료된다.

후 기

본 연구는 2015년도 산학협력 선도대학(LINC) 육성사업으로 수행된 연구결과물이며 권혁주의 석사학위논문(“BLE 기반의 선박용 리튬 배터리의 원격 관리 시스템에 관한 연구, 한국해양대학교 대학원”)을 개선한 것이다.

References

[1] H. J. Kwon, A Study of Remote Management System of Lithium Ion Battery for Ship based on BLE, M.S. Dissertation, Electrical and electronics engineering, Korea Maritime and Ocean University, Korea, 2015. (in Korean)

[2] Go directly to the battery, hybrid ship, <http://news.joins.com/article/18148927>, Accessed December 6, 2015 (in Korean).

[3] Research center of Meritz, Reignition of Growth

Engine with Midium and Large Scale 2nd Battery ESS, 2011 (in Korean).

- [4] J. H. Park, W. C. Cha, U. R. Cho, and J. C. Kim, "State of charge estimation of Li-Ion battery based on CIM and OCV using Extended Kalman Filter," Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers, vol. 28, no. 11, pp. 77-83, 2014 (in Korean).
- [5] Y. M. Jung, An Enhanced OCV Reset Algorithm to Improve the Coulomb Counting Method of Li-Polymer Battery for xEVs, M. S. Dissertation, Department of Electrical and computer Engineering, Sungkyungwan university, 2014 (in Korean).
- [6] J. H. Kim, A Study on the Screening and Battery Packet Modelling Technique for Effective Battery Management System, Ph. D. Dissertation, Department Electrical and computer engineering, Seoul National University, 2012 (in Korean).
- [7] D. Y. Noh, A Study on the SOH Estimation Method of Lithium Ion Batteries using OCV, M. S. dissertation, Department of Electrical Engineering Korea University, 2011 (in Korean).
- [8] D. Y. Noh, I. S. Hwang, and J. Y. Yoo, "SOH estimation method of lithium polymer batteries using OCV," 2010 Power electronics annual conference, vol. 2010, no. 7, pp. 269-270, 2010 (in Korean).