



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

工學碩士 學位論文

전력변환 시스템용 고 신뢰성 BMS

Battery management system with high-reliability
for power conversion system



指導教授 李 成 根

2017年 8月

韓國海洋大學校 大學院

電氣電子工學科

馬 漢 錫

本 論 文 을 馬 漢 錫 의 工 學 碩 士 學 位 論 文 으 로
認 准 함 .



委員長 金 潤 植
委 員 徐 東 煥
委 員 李 成 根



2017年 06月

韓國海洋大學校 大學院

목 차

List of Figures	iv
Abstract	vi
1. 서 론	
1.1 연구 배경 및 시장현황	1
1.2 연구 필요성	3
1.3 연구 목적	4
2. 관련 이론	
2.1 배터리 종류 및 특성	5
2.2 BMS 이론	10
2.2.1 C-rate	10
2.2.2 DOD	12
2.2.3 SOC	12
2.2.4 SOH	15
2.3 사물인터넷[Internet of Things(IoT)]	16
2.3.1 IoT 개요	16
2.3.2 Wi-Fi 개요, 모듈 구조 및 특성	18
2.3.3 Long Range(LoRa) 통신	20
2.3.4 Web Socket 개요 및 구성	22
3. 고 신뢰성 BMS 구성	
3.1 하드웨어	24
3.1.1 BMS 구성	24
3.1.2 하드웨어 설계	27
3.2 소프트웨어 구성	31
3.2.1 BMS 모니터링 소프트웨어	31

3.2.2 BMS 소프트웨어 순서도	32
3.2.3 운전 중 파라미터 추정	35
3.3 실험 및 결과 고찰	38
3.3.1 High-reliability BMS	38
3.3.2 배터리 SOC 측정에 의한 고장 검출 및 과도상태 분석	41
3.3.3 데이터 송신을 통한 원격 모니터링	43
4. 결론	50
참고문헌	53
감사의 글	55



List of Figures

Fig. 1 Battery market in electronic vehicles	1
Fig. 2 Manganese Battery	5
Fig. 3 Internal configuration of rechargeable battery	6
Fig. 4 Internal structure of Li-Ion battery	7
Fig. 5 Zinc-Air battery	8
Fig. 6 Single discharge curves(voltage versus capacity) of a coin cell using different C-rates. 0.2C, 0.4C, 0.6C, 0.8C, 1.0C.	11
Fig. 7 Battery equivalent circuit	13
Fig. 8 Applicants and patent applications status filled by nationality ..	17
Fig. 9 Wi-Fi standards and characteristics	18
Fig. 10 Wi-Fi module	19
Fig. 11 WizFi 210 block diagram	19
Fig. 12 Comparison table of wireless communication technology	21
Fig. 13 HTTP server-client communication	22
Fig. 14 Web Socket conceptual diagram	23
Fig. 15 Status of Web Socket supported browsers	23
Fig. 16 Block diagram of high-reliability BMS	27
Fig. 17 Battery Randles model	28
Fig. 18 BMS with buck-boost converter	30
Fig. 19 Flowchart of high-reliability BMS before operation	32
Fig. 20 Flowchart of high-reliability BMS during operation	34
Fig. 21 SOC-OCV No.4 battery cell graph	35
Fig. 22 No.4 battery cell parameter estimation wave-forms during operation	36
Fig. 23 High-reliability BMS conceptual diagram	38
Fig. 24 Hardware for experiment	39

Fig. 25 No.4 battery cell parameter estimation wave-forms during bypass operating test	41
Fig. 26 No.4 battery cell parameter estimation wave-forms during bypass operating test at fault moment	42
Fig. 27 LabSocket in basic client mapping mode	44
Fig. 28 Prototype of LoRa module	45
Fig. 29 Labview control panel (server)	46
Fig. 30 Labview control panel (client PC_browser)	47
Fig. 31 Labview control panel (client smart device)	48
Fig. 32 LabSocket client monitoring	49



Battery management system with high-reliability for power conversion system

by Ma, Han Seok

Department of Electrical and Electronic Engineering
Graduate School of Korea Maritime University

Abstract

The Global Environment Agency's CO₂ emission restrictions have increased in their complexity over the last several years. In particular, the International Maritime Organization's (IMO) 2020 deadline for a fuel sulfur dioxide cap of 0.5% means there is growing impetus for environmental and safety systems. Most of all, electric vehicles and electric ships are becoming the most eco-friendly vehicles of the future. The role of the battery of electric transportations is important to improve efficiency and safety. This paper presents high-reliability battery management system which estimates OCV, during battery operation. Even the battery problems are occurred, high-reliability BMS supplies sustainable DC power source. In addition, how it can be useful in monitoring and control is discussed. Advanced high-reliability BMS is expected to reduce further accident from battery malfunction.

KEY WORDS: High-reliability BMS 고 신뢰성 BMS

제 1 장 서 론

1.1 연구 배경 및 시장현황

전기차, 스마트폰, 스마트워치 등 시장 영역에서 배터리는 해당 산업은 물론 다양한 산업 시장에서 가장 중요시 되고 있는 필수 요소로 각광받고 있다.

육상에서는 전기차 배터리 시장이 Fig. 1과 같이 최근 5년 새 3배 성장을 이루고 있으며, 특히 독일 폴크스바겐의 ‘디젤 게이트’ 이 후로 전기차, 수소차 등 친환경 에너지 산업에 대한 관심이 급증하고 있다. 2015년 기준 6조 4000억에 이르는 규모가 2017년, 2020년에는 각각 12조 8000억, 18조 8000억에 이를 것으로 전망하고 있다.

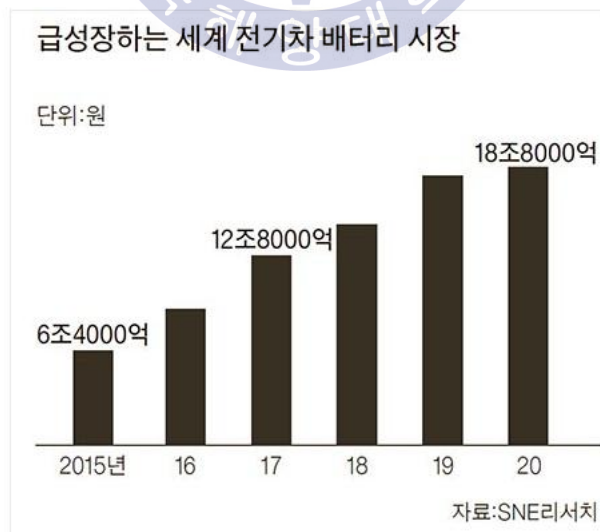


Fig. 1 Battery Market in electronic vehicles

더불어 EU는 2025년까지 자동차에서 배출하는 이산화탄소를 70g/km로 저감하는 중장기적인 목표를 제시하고 있다. 현재로서는 연비가 가장 우수한 것으로 알려진 차량도 위의 기준을 만족하지 못하는 것으로 알려져 있다. 즉, 상기의 조건을 만족하려면 플러그인 하이브리드 또는 연료전지 자동차만이 이를 충족시킬 수 있을 것으로 분석된다. 이러한 관심과 배경으로 2050년에는 EV와 PHEV 및 연료전지자동차의 생산량이 연간 전체 승용차 생산량의 절반 수준까지 차지할 것으로 전망하고 있다.[1]

해상에서는 선박, 해양 플랜트 내에서 각종 UPS 장치와 Emergency lighting 등의 비상 전력 및 안전과 직결되는 시스템에서 필수적으로 사용되고 있다. IMO의 배출가스 규제가 갈수록 엄격해지는 상황에서 전기 추진 선박은 내연기관을 탑재하지 않음으로서 각종 보조기기인 Blower, Pump, Cooling system을 탑재하지 않아 전체 선박의 무게를 줄이고, 진동 및 소음을 줄일 수 있을 뿐 아니라 연료유 탑재를 하지 않음으로 탑승자에게 불쾌감과 멀미 등을 유발할 수 있는 유증기 냄새를 줄일 수 있는 장점이 있다.[2]

1.2 연구필요성

지난 해 스마트폰 핵심 제조사들이 배터리 발화로 인해 큰 고초를 겪었다. 이는 배터리 자체의 제조 공정상의 문제도 있었지만, 스마트폰 내부의 BMS가 정상 작동되지 못한 것으로 보여 진다.

일상생활에서 손쉽게 접할 수 있게 된 과학기술이 된 순간부터 무엇보다 중요한 것은 안전이라 할 수 있겠다. 또한 문제 상황에 직면하였을 때 얼마나 빠르고 안전하게 배터리를 관리·제어 할 수 있는지가 중요한 안전 척도로 자리 잡고 있다.

본 논문에서는 전기추진 운송수단에서 사용되는 다수의 중요한 배터리들의 상태를 SOC 측정을 통하여 모니터링하고 동시에 배터리 셀의 돌발고장 순간에도 직류전원장치의 일정전압을 유지할 수 있는 BMS를 구현하고자 한다.

구현된 BMS는 각 중앙제어장치는 물론 원거리의 외부 PC 및 스마트 기기에서 모니터링을 가능하도록 구성한다.

1.3 연구 목적

전기추진 운송수단에서 사용되는 배터리의 정확한 상태를 확인하는 것은 안전과도 직결되는 사항으로 중요한 요소이다. 주로 사용되는 리튬이온, 리튬폴리머, 리튬인산철 등의 리튬 계열 2차 전지의 경우 에너지 밀도가 기존 납축전지에 비해 상대적으로 높고 충전 특성이 좋으며 자연 방전율과 메모리 효과도 낮은 반면, 주변 환경에 민감하고 내부 전해질이 외부의 습기 또는 물과 반응할 경우 화재, 폭발할 가능성도 존재한다. 또한 사용전압을 초과하거나 미만으로 사용될 경우 화재나 셀의 데미지가 야기될 수 있으므로 보호회로의 구성은 물론 셀간 밸런스를 위한 BMS는 필수적이다.

본 논문에서는 배터리 각 셀의 전압 값, 전류 값, 온도 데이터를 분석하여 배터리의 상태를 관리하고 배터리 셀의 돌발고장 순간에도 직류 전원장치의 일정전압을 유지하며, 내부저항의 추정이 가능하고, 정상 동작 시 무 부하 단자전압(OCV; Open circuit voltage)의 추정이 가능한 고 안전 BMS를 구성, 이를 전력선통신은 물론 각종 데이터 송수신 방법을 통해 중앙제어장치 및 원거리 모니터링 하는 것을 본 논문의 목적으로 한다.

제 2 장 관련 이론

2.1 배터리 종류 및 특성

배터리는 배터리 내부의 화학작용에 의해 전기적으로 직류기전력을 발생시켜 전원으로 사용할 수 있는 장치이다. 화학에너지와 전기에너지의 변환이 일어나도록 만들어져 있으며 충방전이 1회에 한정되는 것은 1차 전지, 1회성이 아닌 여러 번 가능한 것은 2차 전지로 구분된다. 휴대용 전자 기기들은 물론 전지 추진 운송수단의 발달로 인해 배터리의 중요성이 증대되고 있다.

1차 전지로는 대표적으로 망간건전지가 있으며, 1개의 기전력은 1.4~1.7V이며, 음극과 양극에 각각 아연과 카본, 전해액에는 염화암모늄, 염화아연을 사용하고, 이산화망간을 감극제로 사용한 전지이다. 그 구성은 Fig. 2와 같이 나타난다.[3]

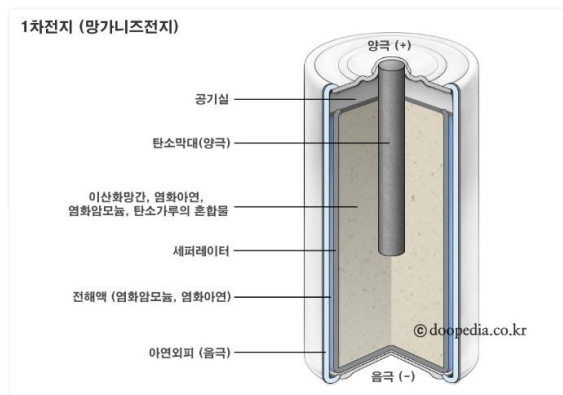


Fig. 2 Manganese Battery

2차 전지로 가장 많이 사용되었던 전지는 납축전지이다. 양극과 음극에 각각 과산화납과 해면상으로 만든 납을 사용하고, 전해액에는 황산을 넣은 것으로, 기전력은 약 2.1V이다.

하지만 최근 리튬이온, 리튬폴리머, 리튬인산철, 니켈-카드뮴, 니켈-수소, 등의 에너지밀도가 상대적으로 높은 전지가 각광받고 있다. 2차 전지는 Fig. 3과 같이 분리막, 양극기재, 음극기재, 전해질 등의 4대 핵심소재로 구성된다. 그 중 충전물질로 사용되는 종류에 따라 니켈전지, 이온전지, 리튬이온전지 등으로 나뉜다.

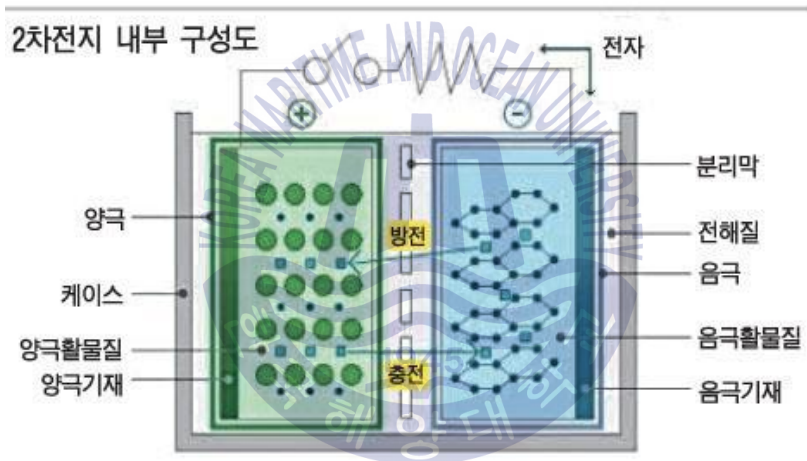


Fig. 3 Internal configuration of rechargeable battery

1. 리튬이온전지 : 양극과 음극에 리튬코발트산화물, 탄소를 사용하고 이들 사이에 유기 전해질을 넣어 충전과 방전을 반복하게 하는 원리이다. 장점으로는 가벼운 무게와 휴대성을 가지고 있어 고용량의 전지를 만드는데 유리하다. 이러한 이유로 휴대폰, 노트북 등에 많이 사용되고 있다. 그러나 리튬 소재는 특성상 불안정한 원소로 공기 중의 수분과 갑작스럽게 반응할 경우 폭발할 위험이 있으며, 전해액이 과열될 경우

화재의 위험성이 있다. 이를 방지하기 위해 내부에는 기본적으로 안전 보호회로(PCM; Protection circuit module) 또는 BMS가 들어간다. 리튬이온전지는 구조에 따라 Fig. 4와 같이 원통형과 각형이 대표적이며, 일부 제약은 존재하나 원하는 모양으로도 제작이 가능하다.

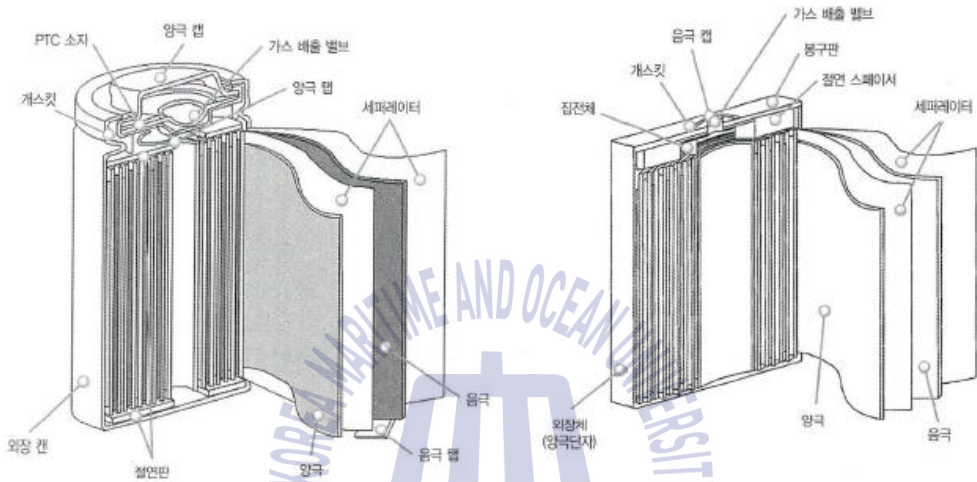


Fig. 4 Internal structure of Li-ion battery

2. 리튬폴리머전지 : 리튬이온전지와 비슷한 특성을 가지고 있으나, 폭발성을 낮춘 전지이다. 고체 전해질 전지로서 고체 또는 젤 상태의 폴리머를 전해질로 사용하면 외부의 힘에 의해 전지가 파손되어도 발화나 폭발할 위험이 적어 안전성에서 유리하다. 또한 외장 또한 상대적으로 내구성이 뛰어난 금속으로 만들 필요가 없어 리튬이온보다 더 쉽게 다양한 모양으로 만들 수 있으며, 소형화된 전지를 만들기에 이점이 있다. 최근에는 드론용으로 많이 사용되고 있는 추세이다.

3. 리튬인산철전지 : 리튬이온전지의 양극을 구성하는 화학물질에 리튬인산철을 사용한 전지로 리튬이온과 리튬폴리머의 단점을 개선한 전지

라 할 수 있다. 공칭전압은 셀당 3.2V이며, 온도 내구성이 -25~60℃로 일반적으로 리튬이온과 리튬폴리머의 0~40℃보다 우수하다. 충·방전 특성도 리튬이온의 500회보다 약 4배 우수한 약 2000회로 뛰어나다. 과충전이나 과방전시 불이 나거나 폭발하지 않고 내부적으로만 손상되어 안전성도 우수하다. 다만 에너지 밀도는 리튬이온이 150~250Wh/Kg, 리튬폴리머가 130~200Wh/Kg임에 반해 80~120Wh/Kg로 상대적으로 낮다.

4. 차세대 전지

리튬계열과 니켈계열의 전지에서 나타나는 가격, 에너지 밀도, 안정성 등의 한계점은 분명히 존재하고 있다. 모든 요소를 충족하는 전지는 존재하지 않으나, 아연공기 전지, 나트륨이온 전지, 리튬황 전지, 리튬공기 전지가 주목받고 있다.

미국 일렉트릭퓨얼사에서 처음 선보인 Fig. 5의 아연공기 전지는 양극소재는 산소, 음극소재는 아연을 이용하여 제작되었으며, 리튬이온 전지에 비해 안정성이 높고 전지 내부가 양극이 없이 음극으로만 구성돼 인화성이 거의 없으며 양극소재로 공기를 사용하기 때문에 가격도 리튬이온 전지의 절반 이하로 예상된다. 현재는 전기차를 위한 아연공기 전지 양산에 힘을 쏟고 있다.



Fig. 5 Zinc-Air battery

이 외에도 에너지밀도가 이론적으로 리튬이온 전지보다 훨씬 높으나 낮은 수명과 낮은 전기전도도를 가진 리튬황 전지, 가벼운 산소를 외부로부터 공급받아 전지가 작동하며, 3KWh/Kg 이상의 에너지 밀도를 갖고 있는 리튬공기 전지, 자원 고갈의 우려가 없는 나트륨으로 구성되어 충·방전 횟수가 2000번 이상 가능한 나트륨이온 전지 등이 있다. 이러한 차세대 전지는 사용용도 별로 필요한 특성을 개선 및 개량하여 산업 전반에 널리 사용될 것으로 보여 진다.[4]



2.2 BMS 이론

BMS는 배터리의 상태를 확인하고 동작조건을 감시하여 배터리를 최적 조건으로 사용할 수 있도록 배터리 팩 시스템을 관리하는 것으로 전류, 전압, 온도를 측정하여 감시(Monitoring), Cell balancing을 통하여 최적의 조건으로 사용할 수 있도록 관리(Management), 과 충전 방지 등의 보호(Protection), 수집된 데이터(전류, 전압, 온도, SOC, SOH 등)를 외부장치와 연결하여 전송하는 통신(Communication)기능, 리튬인산철 전지의 경우 작동전압이 평탄하므로 전류를 측정하여 적산하는 방식이 사용되며, 운용 가능 시간 및 용량 예측을 위해 필요하며 이를 계산(Calculation)하는 것 또한 BMS의 주요 기능이다. 또한 BMS를 위해서는 Current rate(C-rate)와 Depth of discharge(DOD)에 대한 정보도 필요하다.

2.2.1 C-rate

C-rate는 Current rate로, 전지의 충·방전 시 다양한 사용조건하에서의 전류 값 설정 및 전지의 가능 사용시간을 예측하거나 표기하기 위한 단위로서, 충·방전율에 따른 전류 값의 산출은 충전 또는 방전전류를 전지의 정격용량의 단위를 뺀 값으로 나누어 충·방전 전류 값을 산출한다. C-rate의 단위는 C를 사용한다. 이를 수식으로 나타내면 (1)과 같다.

$$C-rate(C) = \frac{\text{방전 전류량}(A)}{\text{배터리 용량}(Ah)} \quad (1)$$

즉, C-rate는 배터리가 얼마나 빨리 충전되거나 방전되는지를 나타냅니다. 아래 식(2)에 나타나는 배터리의 정격용량은 0.2C rate에서 40mAh를 나타낸다. 따라서 다음 식에 따라 이상적으로 5시간 동안 8mA로 방전되어 간다.

$$0.2C\text{-rate} : \frac{40mAh}{5h} = 8mA \quad (2)$$

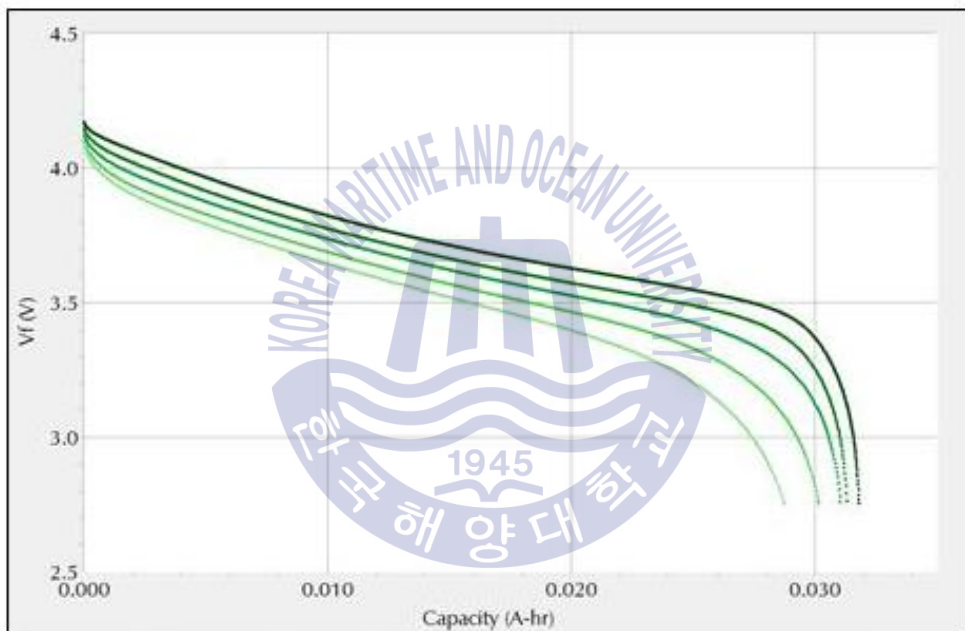


Fig. 6 Single discharge curves(voltage versus capacity) of a coin cell using different C-rates. 0.2C, 0.4C, 0.6C, 0.8C, 1.0C.

배터리는 더 큰 C rates를 사용 시 빠르게 충전될 수 있다. 반대로 에너지는 더 짧은 기간에 충전된다. 즉 높은 C-rate는 배터리의 성능과 수명에 큰 영향을 미치게 된다. 아래의 Fig. 6는 증가하는 C-rate에 따른 어두운 녹색에서 밝은 녹색의 순서대로 5개의 방전 곡선을 보여준

다. 코인 셀은 처음에는 4.2V로 충전되었으며 완충되기까지는 더 오랜 기간 동안 유지되었다. 그 이후 배터리는 2.75V에서 급격히 방전 되었다. C-rate는 0.2C(8mA)와 1.0C(40mA)사이에서 변화되는 것을 관찰 할 수 있었다. 이는 C-rate가 높아지면 배터리 용량이 감소하고, C-rate가 낮을수록 배터리의 용량이 증가한다는 것을 증명하였다.[5]

2.2.2 DOD(Depth of discharge)

DOD(depth of discharge)는 전지의 잔존용량(State of charge, SOC)을 표현하는 다른 방법이다. DOD는 SOC와 반대 개념으로 DOD가 증가할 수록 SOC는 감소한다. SOC가 전지 용량이 가득일 때를 100%, 용량을 다 썼을 때를 0%로 나타낸다면 DOD는 Ah 또는 백분율 수치 두 가지의 표현 방법을 사용하는데, 50Ah인 전지의 DOD를 Ah로 표현할 경우에는 DOD가 0Ah이면 전지의 방전되지 않은 상태를 말하며, DOD가 50Ah이면 전지가 완전히 방전된 상태를 말하게 된다. 또 어떤 전지의 DOD를 백분율로 표현할 경우에는 DOD가 0%이면 SOC가 100%, DOD가 100%이면 SOC가 0%인 상태를 말하게 된다.

일반적으로 전지는 실제 완전 방전 되지 않을 정도만큼을 사용 용량으로 표시하기 때문에, DOD는 100%를 넘어 설 수 있다. 그러한 상황을 SOC로 표현할 수 없기 때문에, DOD를 사용하여 나타내어야만 한다.[6][7]

2.2.3 SOC(State of charging)

SOC란 배터리가 완전히 방전되어 있을 때를 0, 완전히 충전되어 있는 상태를 1로 설정하여 현재 배터리에 전력이 충전되어 있는 상태를 나타내는 지표이므로, SOC 추정을 통하여 과 충전·방전을 미리 예상할

수 있으며 배터리의 동작시간을 예상하여 운영 알고리즘 등에 이용할 수 있다. 이렇게 다양한 전력전자 분야에서 배터리를 포함한 시스템이 이용됨에 따라 배터리 모델링과 시뮬레이션도 많이 진행되고 있다.

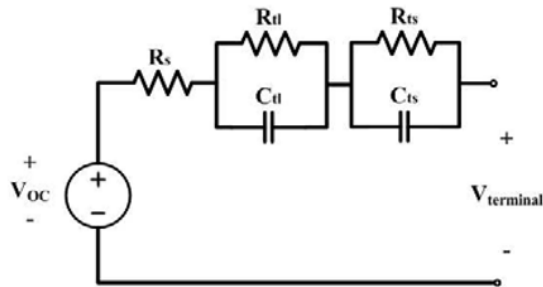


Fig. 7 Battery equivalent circuit

Fig. 7은 가장 많이 이용되는 배터리의 전기적 등가회로를 이용한 모델링 방법으로 배터리 RC로 나타나는 내부 임피던스와 전압원으로 표현되는 내부 전압(OCV; Open circuit voltage)로 나타내어진다. 내부 전압은 직접 측정이 불가능하여 SOC를 통해 유추할 수 있다 실제 배터리 하드웨어를 통한 SOC 추정에는 배터리의 전압과 SOC 관계를 이용하면, 여러 가지 방법으로 추정된 SOC의 오차 수정 및 보완이 가능하다.

2차 전지는 충·방전을 지속적으로 수행하기 때문에 충·방전을 효율적으로 제어하고 배터리의 안정적인 동작 및 성능을 유지하도록 관리되어야 한다. 이를 위하여, 배터리의 상태와 성능을 관리를 위한 배터리 관리 시스템(Battery management system)이 요구된다.

배터리의 SOC가 일정한 범위 내에서 변화할 때 전기 추진 운송수단에 필요한 에너지와 SOC의 관계는 배터리 자체의 내부저항과 배터리 SOC 정의에 의해 다음 식 (3)과 같다.

$$\frac{d(SOC)}{dE} = -\frac{1}{Q_0 V_c \eta} \quad (3)$$

여기서 E는 운송수단에 필요한 에너지이며, Q_0 는 배터리 용량, V_c 는 배터리 전압을 나타낸다. η 는 배터리와 휠 사이의 동력전달 효율을 나타낸다. 이는 전동기의 효율과 증·감속 기어의 효율을 포함한다. 이 관계에 의해 임의의 주행 Cycle이 주어졌을 때 그것으로부터 에너지(E) 값을 구하고 이에 따른 배터리의 SOC 최종 값을 구할 수 있다.[8]

배터리의 SOC를 측정하는 방법으로는 배터리에 흐르는 총방전 전류를 적산하여 배터리의 SOC를 추정하는 방법이 있다. 이를 전류 적산법이라고 한다. 식 (4)는 전류 적산법을 이용하기 위한 수식으로 단위 시간당 배터리의 방전 전류를 누적하여 SOC를 추정하는 방법으로 실제 BMS에 이용 시에는 발생하는 오차를 전압-SOC 그래프와 비교하여 보완하는 방식으로 이용된다.

$$SOC = SOC_{init} + \frac{\int i_{discharge}}{Battery\ capacity[Ah] \times time[h]} \quad (4)$$

$$SOC = SOC_{init} + \frac{\int i_{discharge}}{k(i) \times Battery\ capacity[Ah] \times time[h]} \quad (5)$$

전류 적산법은 유용하게 사용할 수 있지만, 단순한 전류의 누적이기 때문에 전류 크기에 따른 배터리 방전 효율이 반영되지 못하는 단점이 있다. 이를 통하여 배터리 SOC를 추정할 경우 완충 상태에서 IC로 동작하면 1시간의 방전이 가능하지만, 실제로 배터리의 방전 특성을 보면 IC 동작 시 방전 시간은 약 35분이다. 따라서 이러한 방전 특성을

고려하기 위해 식 (5)를 통해 나타내었다. 방전 전류에 따른 배터리 방전 효율을 $k(i)$ 로 반영할 수 있으며 이를 통해 더 정확한 배터리 SOC 추정이 가능하다.[9]

2.2.4 SOH(State of health)

배터리의 수명 상태를 의미하는 SOH(State of health)는 배터리가 거의 사용되지 않은 초기 상태를 Fresh라 정의하며, SOH 100%를 1로 나타낸다. 많은 사용으로 인해 더 이상의 사용이 불가능한 상태를 Aged라 정의하며, SOH 0%를 0으로 나타낸다. 즉, 배터리 SOH는 0에서 1의 범위 값을 가진다. 1에 가까우면 초기의 배터리의 상태를 의미하고, 0에 가까우면 노화된 배터리를 의미한다. 단순한 배터리 제조사에서 권장하는 수명에 따른 배터리 교체는 수명이 다하지 않은 배터리의 교체로 이루어지는 비효율이 발생할 수 있다. 따라서 정확한 SOH 추정은 안전·경제적 측면에서 중요한 요소라 할 수 있다. 초기의 SOH 추정 방법은 완 충전된 배터리를 일정한 방전전류로 일정한 조건으로 방전시키면서 총 방전 전하량을 측정하는 것이었다. 이러한 방법은 장비 운전 중에 실시하기 어려운 점과 방전실험 자체가 배터리의 수명을 단축시키는 한계를 가지고 있었다. IEEE에서는 이러한 문제점을 개선하기 위해 배터리의 내부 컨덕턴스를 측정하여 SOH를 간접적으로 평가하는 방법을 연구하였고, 내부임피던스를 측정함으로써 간접적이고 비파괴적인 방법으로 SOH를 추정하는 방법을 추천하였다. 배터리의 내부임피던스는 배터리의 건강상태와 반비례적인 관계를 갖는 반면 배터리의 컨덕턴스는 상대적으로 비례관계를 보이므로 SOH를 시각적으로 판단하기에 유리하였다. IEEE 1188-1996에서는 SOH가 80%인 값을 축전지 교체의 기준으로 추천한다. 리튬 계열 배터리의 경우는 주변온도 및

충전과 방전 전류 등 다양한 열화인자들로부터 복합적인 영향을 받게 된다.[10]

2.3 사물인터넷[Internet of Things(IoT)]

2.3.1 IoT 개요

사물인터넷 IoT란 세상의 유형이나 무형의 사물들이 다양한 통신 방식으로 서로 연결되고 개별 객체들은 제공하지 못한 새로운 서비스를 제공하는 기술이다. 사물인터넷은 센서, 네트워크, 작동기(Actuator) 등의 요소기술이 유기적으로 결합된 기술로, 스마트 홈, 자동차, 웨어러블(Wearables) 기기, 환경, 의료 등의 다양한 분야에서 활발히 연구되고 있다. 사물인터넷은 다양한 분야에서 인터넷 서비스를 중심으로 원거리에서 제어 및 모니터링 함으로서 미래의 중심 먹거리로 여겨져 왔다. 또한 기존의 통신시장이 거의 포화상태가 되어 그에 따라 시장의 이윤이 하락하게 되어 새로운 대체수요수단으로 IoT가 급부상하게 되었다. IoT가 발전함으로써 기존 통신 사업에 새로운 서비스를 제공하여 고부가가치산업에 이바지하고, 신규 산업들의 확대와 발전에 기여하였다.

세계 사물인터넷 시장은 주도권 확보를 위해 핵심기술 개발을 적극적으로 추진하고 있다. 사물인터넷 서비스를 위해서는 특정 사물인터넷 장치가 주변 환경 정보를 수집하고, 네트워크상에서 사물인터넷들이 연결되어 다양한 정보 값들이 실시간으로 공유하는 기술 개발이 핵심이기 때문에 사물 인터넷의 기술 중 센싱, 네트워크 보안, 그리고 개방형 서비스 플랫폼이 핵심 기술이라고 할 수 있다. IoT 네트워크, 보안 분야에는 수많은 기술 개발들이 있었으며, 그 중 상위 7개 대표 기술

을 조사하여 특허 출원 현황을 Fig. 8에 나타내었다. 네트워크 및 보안 분야에서 가장 많은 출원은 ‘Malibu networks’ 였다. 다음으로는 SK Telecom Co.,Ltd, ETRI, Samsung electronics Co.,Ltd가 특허 출 원에 뒤를 이었다. 국적별 출원 현황을 비교해보면 한국이 34%로 1위, 미국이 26%, 다음으로 유럽이 22%로 높은 비율을 차지했고, 일본은 18%를 차지하였다. 이처럼 앞으로도 한국은 IoT 네트워크와 보안 분야에서 세계적인 강국으로서 기술발전을 선도할 것으로 기대한다.[11]

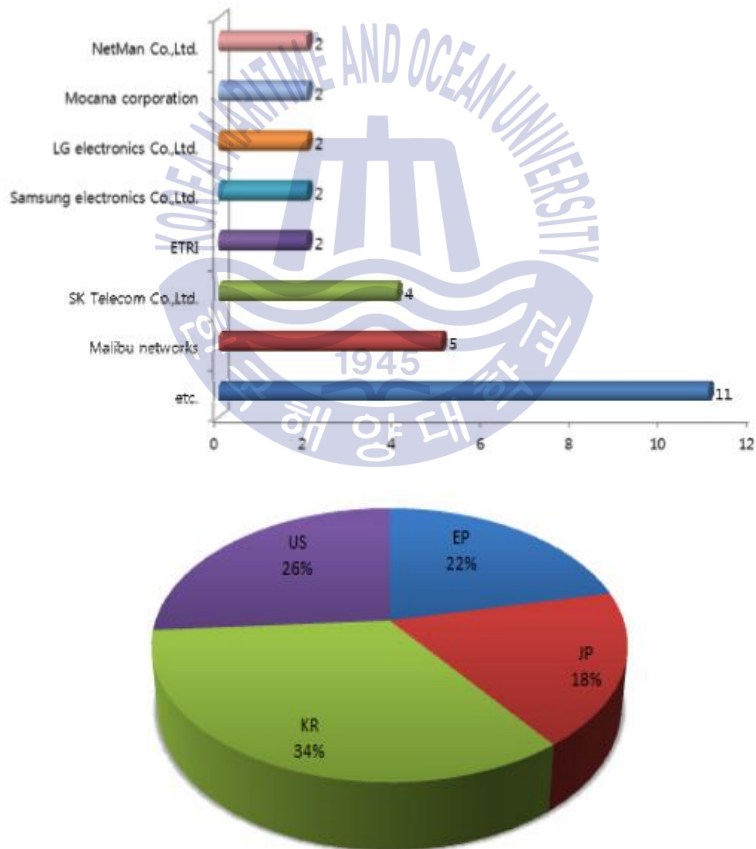


Fig. 8 Applicants and patent applications status filled by nationality

2.3.2 Wi-Fi 개요, 모듈 구성 및 특성

Wi-Fi는 무선(Wireless) 방식으로 무선이지만 품질(Fidelity)은 유선 랜과 같이 뛰어난 서비스를 제공한다는 Wireless fidelity를 줄인 단어이다. 최근 Wi-Fi는 IEEE 802.11 표준을 일컫는 동의어처럼 사용되고 있으나, IEEE 802.11은 사실 무선 랜을 위한 기술적 표준이며 Wi-Fi는 이 표준규약을 기준으로 개발된 다양한 무선 랜 제품들을 말한다.

Wi-Fi는 처음에는 2Mbps의 속도를 제공했고, 이 후 11Mbps 속도의 IEEE 802.11b, 그 후 최대 54Mbps의 속도의 IEEE 802.11a 표준이 있었고, 최근에는 6.9Gbps의 속도를 지원하는 IEEE 802.11ac가 사용되고 있다. Fig. 9는 Wi-Fi 표준 및 표준별 특성을 나타낸다.

구분	802.11 b	802.11 a/g	802.11n	802.11ac
주파수 대역	2.4GHz	5GHz (11a) 2.4GHz (11g)	2.4 / 5GHz	5GHz
전송 방식	DSSS	OFDM	OFDM	OFDM
안테나 기술	SISO	SISO	MIMO(up to 4 streams)	MU-MIMO(up to 8 streams)
채널 대역폭	20MHz	20MHz	20/40MHz	20/40/80/160MHz
최대 전송률	11Mbps	54Mbps	600Mbps	6.9Gbps

Fig. 9 Wi-Fi standards and characteristics

또한 최근에는 저 전력 Wi-Fi module을 활용한 Web에 직접 연결하는 방법이 연구되고 있다. 이러한 방법은 추가적인 Gateway나 Protocol이 필요하지 않아 에너지 효율도 뛰어나다.[12]

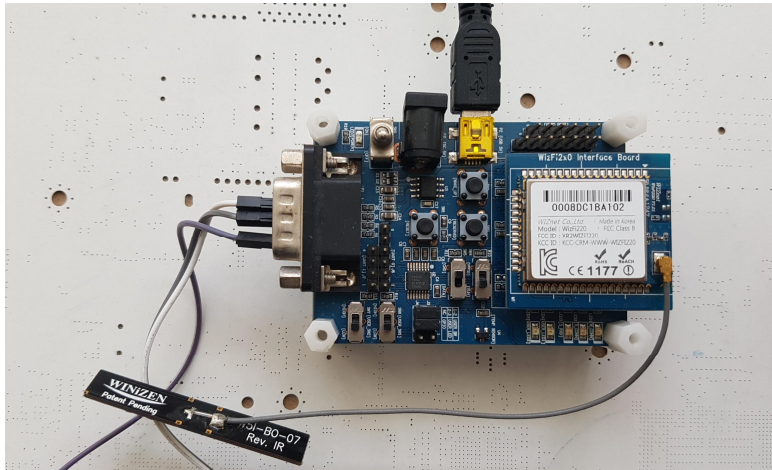


Fig. 10 Wi-Fi Module

Fig. 10은 실험에 사용된 Wi-Fi module은 Wiznet 社의 Wizfi 210/220 Module 및 Development tools이다. Wi-Fi module은 3.3V 동작전압이며 802.11b의 규격을 따르고 2.4GHz 대역을 사용한다. 대기 시 $34\mu A$, 송신 시 135mA, 수신 시 125mA를 각 소비한다.



Fig. 11 WizFi 210 block diagram

Fig. 11은 WizFi 210의 Block diagram이다. 본 모듈은 내부에 Band pass filter가 설계되어 있고, Antenna가 내장되어 있어, 신호의 품질이 우수하고, 스마트폰 및 각종 스마트 기기와 직접 통신은 물론 각 공유기(AP)와 직접 통신함으로써 수신부에 추가 설계 및 통신 제약으로부터 자유로웠다. 다만, 최근 사용되는 BLE나 LoRa 모듈에 비해서 전력 사용량이 상대적으로 많고, Direct 통신을 시도할 때는 이더넷의 경우 500m까지 가능하다고 하나, 실제로 대부분은 10~20m 내외에서 통신이 가능한 단점이 있다. 이를 보완하기 위해서 와이파이 백스캐터(Wi-Fi backscatter) 기술을 이용하여 소비전력을 최대 1만 분의 1로 줄일 수 있는 Passive Wi-Fi, 광 안테나를 사용하여 무선 데이터를 전송하여 기존 Wi-Fi보다 100배 빠른 Li-Fi, 도달거리는 3배, 투과율은 9배, 통신 가능 면적은 16배정도 높은 White-Fi 또는 Super Wi-Fi라 불리는 802.11af 등이 개발되고 있는 추세이다.

2.3.3 Long Range(LoRa) 통신

LoRa란 Long Range의 약어로서 대규모 저 전력 장거리 무선통신 기술로 기존의 통신 모듈에 비해 대기 전력 소모량이 적으며, 모듈 가격도 상대적으로 저렴하여 다양한 사물 인터넷 및 GPS와 접목하여 위치 추적 장치 등에서 쓰인다. 대부분의 기존 스마트 기기의 경우 기지국이나 추가 AP 등의 중계 장비를 필요로 하지만, LoRa의 경우 이러한 추가 장비를 필요로 하지 않고 소규모 데이터 송수신에 특화되어 있으며 상호호환성도 뛰어나 개발자들에게 유용한 기술로 기대 받고 있다.

종류 구분	형태	전력	속도	범위	응용	비용
RFID	P2P	매우 낮음	400Kbps	< 3m	물품태그	낮음
Bluetooth	Star	낮음	700Kbps	< 30m	데이터교환	낮음
Zigbee	Mesh, Star	매우 낮음	250Kbps	10~300m	센싱	보통
Wi-Fi	Star	Low~High	11~100Mbps	4~20m	인터넷	보통
WirelessHart	Mesh, Star	매우 낮음	250Kbps	200m	산업용 센싱	보통
LoRa	Mesh, Star	낮음	300Kbps	< 21Km	산업용 센싱	낮음
Wi-MAX	Mesh	높음	11~100Mbps	50Km	브로드밴드	높음
3G/4G	Mesh	높음	1.8~7.2Mbps	Cell범위	셀룰러폰	높음

Fig. 12 Comparison table of wireless communication technology

Fig. 12에서 보이는 것과 같이 기존에 가정용 또는 산업용으로 널리 사용되는 블루투스, 지그비 등의 모듈도 초기·유지비용이 낮은 저 전력 무선통신 프로토콜로서 공통점을 가지지만, LoRa 통신보다는 도달 거리가 짧고, 이를 개선하기 위해서는 많은 비용은 물론, 보안에도 취약하게 된다. 이러한 단점들을 보완함과 동시에 Field bus 기능이 추가된 Wireless hart 프로토콜이 있지만, 장비 자체의 비용은 물론 유지보수 비용이 많이 들어 경제성이 떨어진다.

이러한 기존의 통신 모듈에 비하면 LoRa의 경우 최대 21Km의 통신 거리를 가지며, 적은 전력 소모로 배터리를 장기간 사용할 수 있고, 추가적인 AP나 기지국의 장비가 필요 없어 인프라 구축비용이 현저히 낮아, 높은 효율성과 효용성을 갖고 있다고 말할 수 있다.[13]

2.3.4 Web Socket 개요 및 구성

HTML로 주로 구성된 web server의 가장 큰 단점은 실시간 양방향 데이터 송·수신에 대한 제약이 많다는 것이다. 기존 HTTP(Hypertext transfer protocol) 통신 규약을 사용한 데이터 송·수신은 아래 Fig. 13과 같이 보여 진다.



Fig. 13 HTTP server-client communication

모든 HTTP를 사용하는 통신의 경우 웹 브라우저가 요청을 보내고, 그 요청에 따라 웹 서버가 응답을 하는 형태이다. 즉, 동시에 데이터를 보내는 것이 아닌 반이중 통신(Half duplex)의 형태이다. 그 동안 HTTP 규약 내에서 사용된 통신에는 플래시, 자바애플릿, ActiveX, 실버라이트 등이 있다. 하지만 이들은 순수 웹 환경이 아닌 별도의 Run time을 Plug-in 형태로 브라우저에 설치해야하는 불편함이 있었다. 이러한 단점을 보완하기 위해 사용되는 통신 방법이 HTML5를 이용한 Web Socket이다.

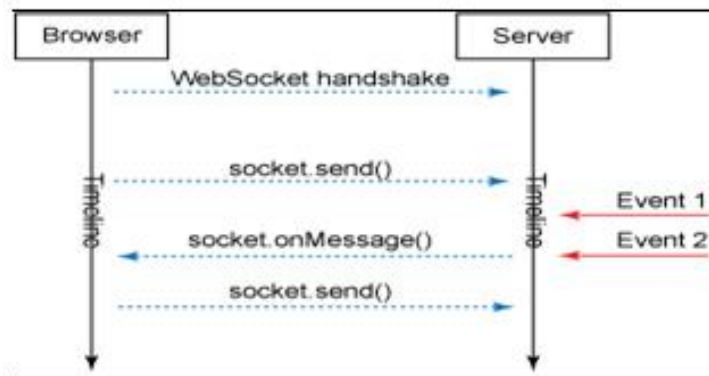


Fig. 14 Web Socket conceptual diagram

Fig. 14는 HTML5 Web Socket의 개념도이다. Web Socket은 TCP/IP상의 독자적인 프로토콜을 통해 실시간 양방향 데이터 통신을 수행하며 많은 수의 동시 접속자를 수용하고 개발자에게 사용하기 쉬운 API를 제공하는 특징을 가진다.

하지만 프로토콜의 헤더 취약점 기반으로 IP Hijacking attack이나 Cache poisoning attack이 가능한 단점을 가지고 있어 이를 극복하기 위한 아키텍처 구성이 필요하다. 또한 일부 브라우저에서는 HTML5를 지원하지 않는다. 아래 Fig. 15는 지원되는 브라우저 현황이다.[15]

	Internet Explorer	Firefox	Safari	Chrome	Opera
Two versions back	6.0	3.0	3.2	4.0	10.1
Previous version	7.0	3.5	4.0	5.0	10.5
Current	8.0	3.6	5.0	6.0	10.6
Near Future (2010)			5.0	7.0	
Future (2011 or later)	9.0	4.0	5.*	8.0	10.7

 = Supported
 = Not supported
 = Partially supported
 = Support unknown

Fig. 15 Status of Web Socket supported browsers

제 3 장 고 신뢰성 BMS 구성

제작된 BMS는 배터리와 직류 전원 제어부, 모니터링 프로그램을 통해 구성하였다. 먼저 배터리 셀의 전류, 전압 및 OCV를 측정함으로써 배터리의 상태를 점검한다. 측정된 데이터는 연산하여 배터리 잔존용량(SOC)을 나타내고 이는 Wi-Fi, LoRa, RS232, 전력선 통신을 통하여 모니터링 PC 또는 서버에 다양한 방법으로 데이터를 전송하고, 이를 client PC는 물론 각종 스마트 기기에서 모니터링 할 수 있도록 한다.

배터리 동작 중 특정 셀의 문제 발생 시 해당 배터리를 분리(Bypass)하고, 남은 셀로 전원을 공급한다. 그로 인해 떨어진 출력전압은 부스트 Buck-boost 컨버터의 Duty ratio 조정에 의해 보상된다.

3.1 하드웨어

3.1.1. BMS 구성

BMS(battery management system)는 배터리를 제어하고 관리하기 위해 필요한 시스템이다. BMS는 상태 감시부, 보호 회로부, 명령 제어부, 알고리즘 연산부, 통신부로 나눌 수 있다. 배터리 셀 및 안정적인 시스템 운영을 위해 셀의 전류, 전압, 온도 등을 측정하는 상태 감시부와 과전압과 과전류를 감시 및 차단하는 기능을 하는 보호 회로부가 있으며, 셀 밸런싱이나 보호 기능을 위해 스위치를 동작하도록 제어 신호를 송신하는 명령제어부가 있고, SOC, SOH와 셀 밸런싱 알고리즘을

연산하는 알고리즘 연산부, 이러한 기능들을 외부에서 마스터와 슬레이브 간에 CAN통신, PLC, RS-232C 등을 통해 모니터링 및 제어 할 수 있도록 구성된 통신부가 있다.

배터리의 상태를 확인하기 위해 필요한 데이터를 수집하는 프로세스로서 셀 전압, 팩 전압, 온도, 전류 등을 측정한다. 수집한 데이터는 연산 또는 그 값을 비교하여 모니터링 및 관리할 수 있는 근거로 사용된다.

1. 전압 : 각 배터리의 전압을 측정하는 것으로, 배터리의 상태에 따라 과전압, 저전압 상태를 우선적으로 판단하는 기준으로 사용된다. 다양한 마이크로프로세서를 통하여 A/D 컨버터로 전압을 측정하는 방법, 저항을 이용한 전압 분배 회로 구성을 통한 측정 방법이 사용된다. 전압 측정 시 마이크로프로세서에 직접적인 전류가 흐르지 않도록 절연하는 절연형 방식이 주로 사용된다.

2. 전류 : 전류 측정 방법에는 자기장 속의 도체에서 자기장의 직각방향으로 전류가 흐르면, 자기장과 전류 모두에 직각방향으로 전기장이 나타나는 Hall effect를 이용한 전류센서를 이용하는 방법과 전류계의 최대 눈금 값을 넘는 전류를 측정하기 위해 피 측정 전류의 일정 비율만을 전류계에 흘리기 위해 계기와 병렬로 사용하는 분로 저항을 이용한 Shunt resistor를 이용하는 방법이 주로 사용된다.

3. 온도 : 배터리 온도를 측정하는 일반적인 방법은 열전대를 사용하는 방법이다.

측정된 데이터들은 배터리를 관리 및 보호하기 위한 소스로 사용되는데, 이 때 무엇보다 문제 발생 시 상황을 외부에서 모니터링 하거나 자체적으로 배터리를 차단할 수 있도록 함이 중요하다. 또한 배터리의

경우 화학적인 성분들의 조합으로 만들어지는 것으로 각각의 저항이 차이를 가질 수밖에 없다. 이로 인해 충·방전 시 전압이 균등하지 못해 충전 및 방전 편차가 발생하기도 하는데 이를 방지하기 위해 밸런싱 회로가 사용된다. 주로 저항을 통해 전압 밸런스를 맞추어 주는 Passive 밸런싱 회로와 트랜스포머나 커패시터를 이용하는 Active 밸런싱 회로가 있다.

2차 전지가 사용되기 시작하면서 가장 중요한 부분은 과 충전과 과 방전으로부터 배터리를 보호하는 것이다. 대표적인 2차 전지인 리튬이온 배터리의 경우 과 충전 시 폭발의 위험이 있고, 실제로 이로 인한 다양한 안전사고 및 화재 사고가 발생하였다. 본 논문에서는 리튬인산철 배터리가 사용된 이유 중 하나도 과 충전이나 과전류에도 폭발하지 않기 위함이 있다. 이를 시스템적으로 보호하는 회로가 필요한데 이를 PCM(Protect circuit module)라 한다. 이 모듈 내부에는 과 충전 보호기능, 과 방전 보호기능, 과전류 보호기능, 과전압 보호기능, 저전압 보호기능, 과온 보호기능, 단락 보호기능이 포함되어 있다.

3.1.2 하드웨어 설계

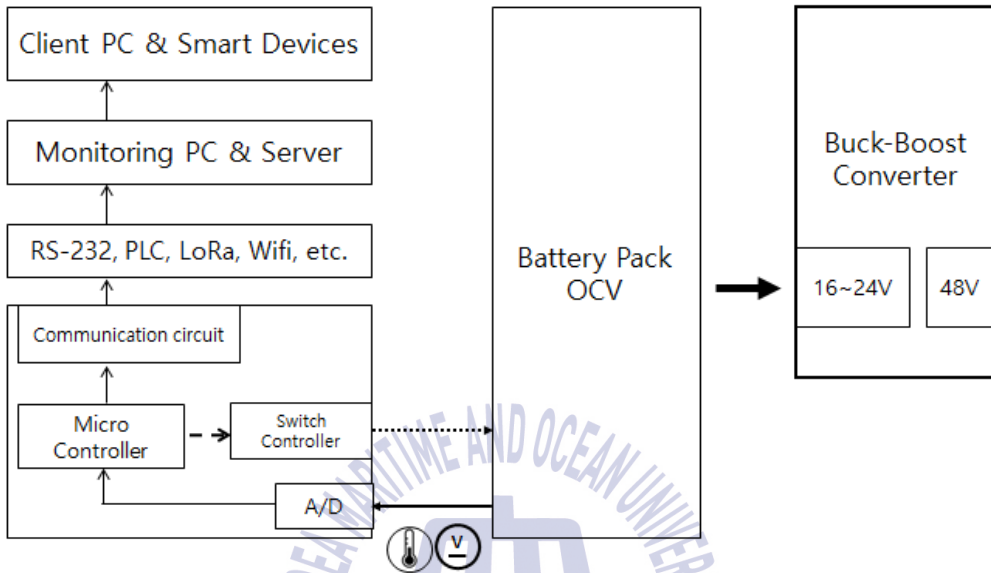


Fig. 16 Block diagram of high-reliability BMS

Fig. 16은 전력변환용 BMS의 Block Diagram이다. BMS는 배터리 셀의 전류, 전압 및 OCV를 측정하여 각 셀 또는 배터리의 전체 상태를 점검하게 되며 이를 Wi-Fi 또는 Lora 모듈, RS-232, 전력선 모듈 등을 사용하여 모니터링 PC,와 서버 또는 Client PC나 Smart device로 상태를 전송하게 된다.

전력선 통신(Power line communication)은 220V, 60Hz 전력선(Power line)에 배터리 점검요소의 데이터가 담긴 고주파 신호를 포함시켜 전송하고 다시 필터를 통해 복조하는 통신기술이며, 수신 시 저주파 대역(Low frequency;60Hz)의 전력은 커패시터로 차단되고, 고주파 대역의 정보신호만 통과하게 된다. 이러한 전력선 통신은 경제적이며 추가 케이블 설치가 필요 없다는 점에서 장점을 가지고 있으나, 노이즈 등에

취약하므로 최근에는 Category, Fiber optic cable 등으로 대체되고 있는 실정이며, 무선 통신을 통한 Wi-Fi module 및 LoRa 등의 기술 접목으로 다양하게 데이터를 송·수신할 수 있게 되었다. 본 논문에서는 기본적으로 Fig. 16을 따르는 한편, 여러 방법으로 통신 및 모니터링 하는 방법에 대해 논의하였다.

배터리 동작 중 특정 셀의 문제 발생 시 수 μs 또는 수 ms 동안 이 배터리를 Bypass하고, 운전 중 셀의 고장이 발생하면 고장 난 셀을 Bypass하고, 고장 셀을 수리하거나 교체작업이 진행 될 때까지 남은 배터리 셀들로 운전하게 된다. 고장 난 셀로 인하여 떨어진 출력전압은 부스트 컨버터의 Duty ratio 조정에 의해 보상된다.

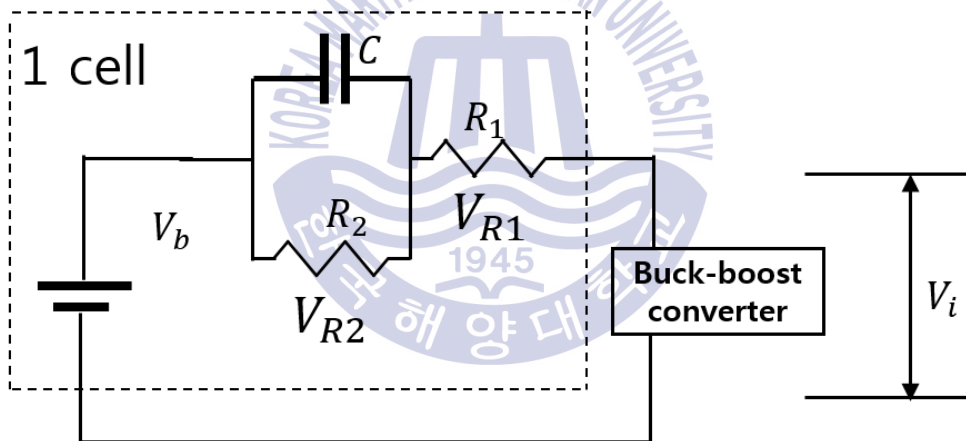


Fig. 17 Battery Randles model

Fig. 17은 Buck-boost 컨버터에 접속된 배터리의 Randles 1차 모델이다. 등가 회로는 배터리의 내부 저항인 R_1 , 충전 또는 방전 전류로 인한 이온화 손실 저항인 R_2 , 이 와 2중층의 커패시턴스 C 로 구성된다. V_b 는 OCV(Open circuit voltage)를 나타내며, 사용량이 증가하면 그 값

은 점점 줄어든다.

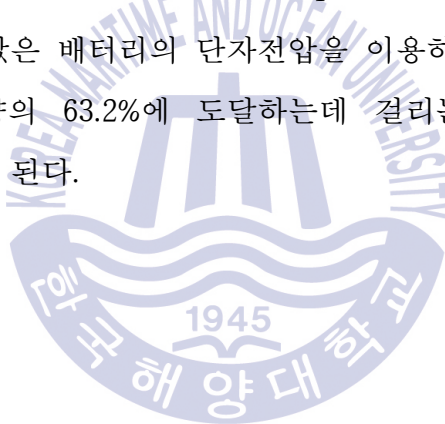
Fig. 17에서 부하가 접속되면 단자전압 V_i 는 $V_i = V_b - (V_{R_1} + V_{R_2})$ 와 같이 나타 낼 수 있다.

부하가 접속되어 폐회로가 되는 순간에는 V_{R_2} 가 0이 되므로 R_1 만큼의 전압강하가 일어나고 이를 뺀 V_{1d} 가 된다. 이때 저항 R_1 의 값은

$$V_{R_1} = V_b - V_i, R_1 = \frac{V_{R_1}}{I} \text{ 과 같다.}$$

커패시턴스(C)의 값은 C가 완충되어 전압 V_{1r} 가 일정하게 나타났을 때, 단자전압(V_{12d})을 측정하여, $R_2 = \frac{V_{1d} - V_{12d}}{I}$ 값이 된다.

커패시턴스 C의 값은 배터리의 단자전압을 이용하여 구할 수 있는데, C의 총 충전 용량의 63.2%에 도달하는데 걸리는 시간(시정수), 즉 $\tau = R_2 C$ 로부터 계산 된다.



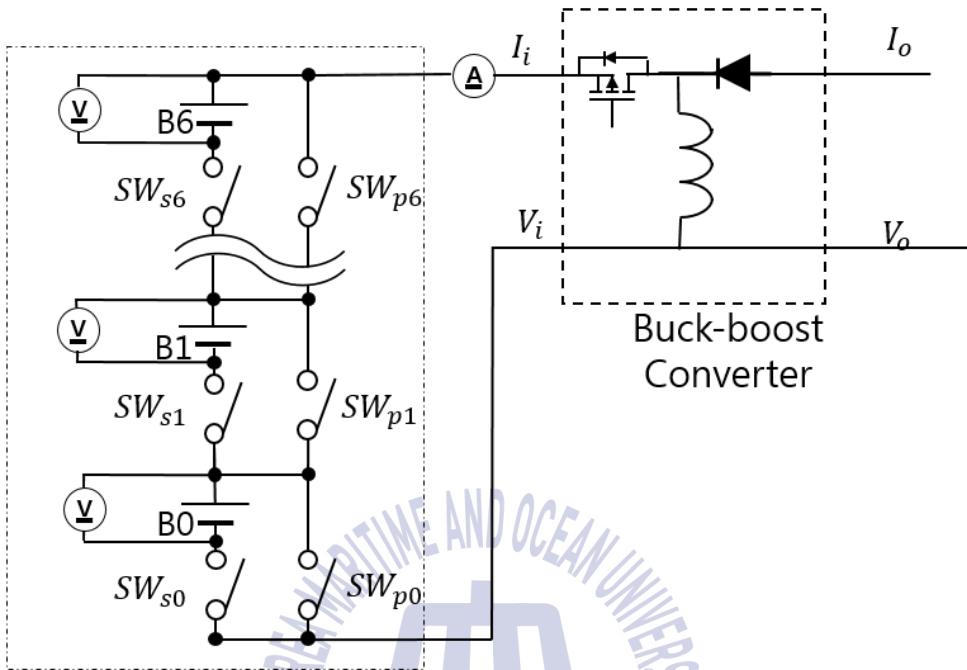


Fig. 18 BMS with buck-boost converter

Fig. 18은 직류전원장치에 접속된 배터리 팩과 바이패스 스위치를 나타낸다. 특정한 셀이 고장 날 경우 고장 셀을 Bypass하고, 남은 셀들로만 부하에 전력을 공급하며, 동시에 이 스위치들을 활용하여 운전 중에도 파라미터 R_1 을 측정하여 OCV의 추정이 가능하게 구성하였다.

각 셀의 전압이 3.2V인 배터리를 B_0 에서 B_6 까지 7개를 연결하였다. $SW_{s0} \sim SW_{s6}$ 은 R_1 이나 고장 셀을 검출 할 때 회로에서 분리해주는 스위치들이고, $SW_{p0} \sim SW_{p6}$ 은 회로를 닫아주는 스위치들이다. 실험을 위해 불량 셀을 B_4 라고 가정하였을 때, 불량이 검출되는 순간 SW_{p5} 는 닫히게 되며, 스위치가 열리고 닫히는 순간에 파라미터를 추정한다.

3.2 소프트웨어

3.2.1 BMS 모니터링 소프트웨어 구성

BMS 모니터링 소프트웨어는 National Instrument 社의 Labview 프로그램으로 구성하였다.

각 셀의 SOC와 OCV 및 단자 전압을 표시하고, 온도, 전류, SOC(%)를 그래프로 그릴 수 있도록 구성하였다. 더불어 온도, 과전류, SOC에 문제가 발생할 때는 적색등이 들어오도록 그래프 옆에 배열하였다. 또한 각 셀의 문제가 없이 정상 작동 시에는 녹색등이 점등하고 문제 발생 시 적색등이 점등하도록 하였다.

BMS의 소프트웨어는 마이크로프로세서에서는 Buck-boost 컨버터를 작동하기 위한 PWM duty ratio를 조정하는 역할을 주로 담당하고, 배터리의 모니터링에 관련된 연산은 PC의 Labview에서 실행되어 효율성을 높이도록 구성하였다. 구성된 화면은 3.3.3절의 Fig.30에서 확인할 수 있다.

3.2.2 BMS 소프트웨어 순서도

먼저 소프트웨어를 구성하는 순서도를 구성하였다. 아래 Fig. 19는 운전 전 초기 배터리 파라미터의 측정을 위한 순서도(a)이다.

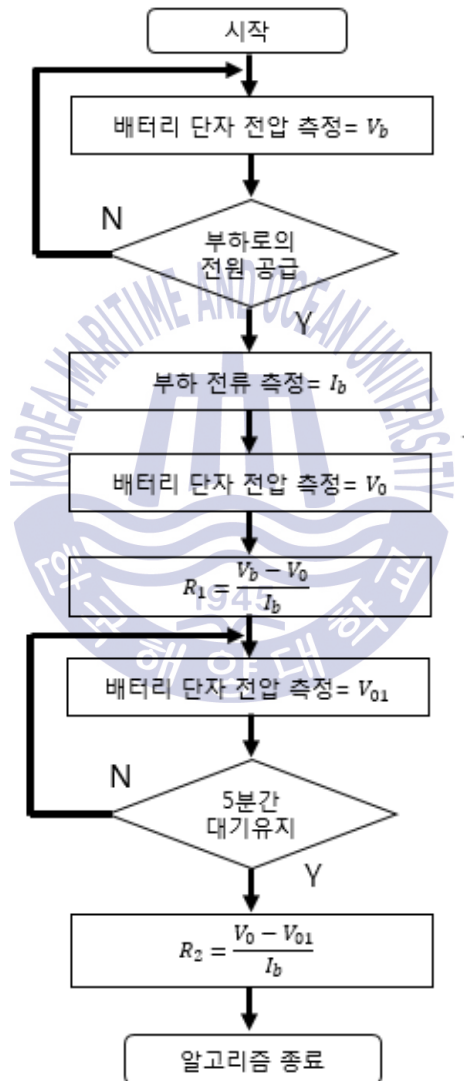


Fig. 19 Flowchart of high-reliability BMS before operation

배터리의 터미널 단자 전압(V_b)를 측정하고 Load에 전력을 공급한다. 이때 전압이 제대로 나오지 않을 경우 다시 V_b 를 측정하고, 제대로 전력을 공급하는 경우에는 Load의 전류(I_b)를 측정한다. 또한 터미널 단자 전압(V_o)를 측정하여 $R_1(R_1 = \frac{V_b - V_o}{I_b})$ 의 값을 구할 수 있다. 이 후 정상적으로 전압이 나타나면, $R_2(R_2 = \frac{V_o - V_{o1}}{I_b})$ 의 파라미터를 측정하게 된다.



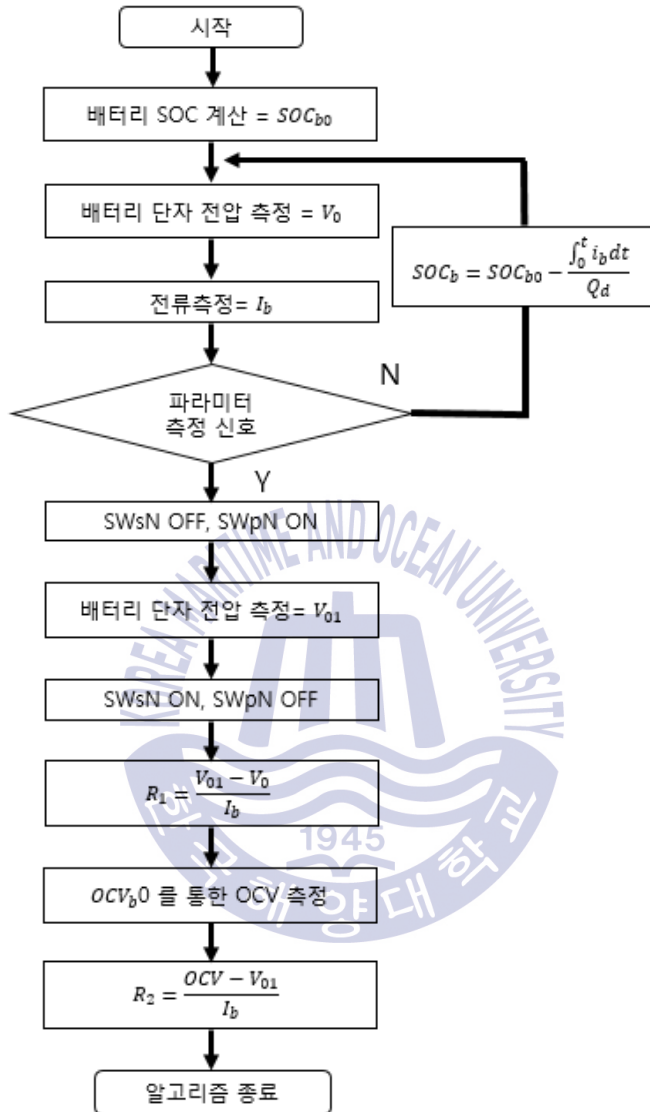


Fig. 20 Flowchart of high-reliability BMS during operation

Fig. 20은 운전 중 파라미터 측정 순서도(b)이다.

배터리의 SOC를 측정하고 배터리 터미널 단자 전압(V_b)와 전류(I_b)를 측정한다. 파라미터 시그널이 들어오지 않으면 다시 SOC 적산을 통해

터미널 단자 전압을 측정하고, 시그널이 들어오면 SWsN을 Off, SWpN을 On한다. 배터리 터미널 단자 전압(V_{o1})을 측정하고 SWsN은 On, SWpN은 Off를 하고 $R_1(R_1 = \frac{V_b - V_o}{I_b})$ 의 값을 구한다. OCV_{b0} 를 통하여 OCV를 연산하고 $R_2(R_2 = \frac{OCV - V_{o1}}{I_b})$ 의 파라미터를 측정한다.

3.2.3 운전 중 파라미터 추정

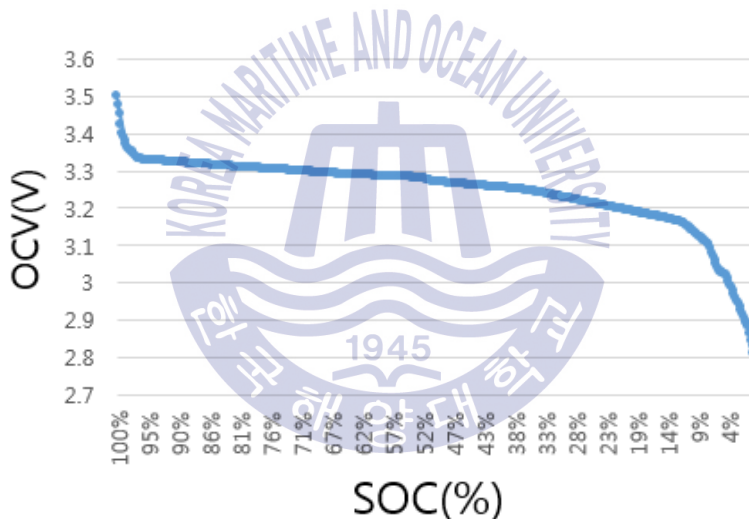


Fig. 21 SOC-OCV No.4 battery cell graph

배터리가 전력을 부하에 공급하기 시작하면 $\int_0^t i_b dt / Q_d$ 의 값이 변하고 이를 통해 soc_b 의 값을 산출할 수 있으며, 산출된 soc_b 를 Fig. 22의 SOC-OCV 그래프에 적용하면 현재의 OCV를 추정할 수 있다. Fig. 22는 충·방전 실험을 통해 SOC와 OCV 관계를 나타낸 그래프이다.

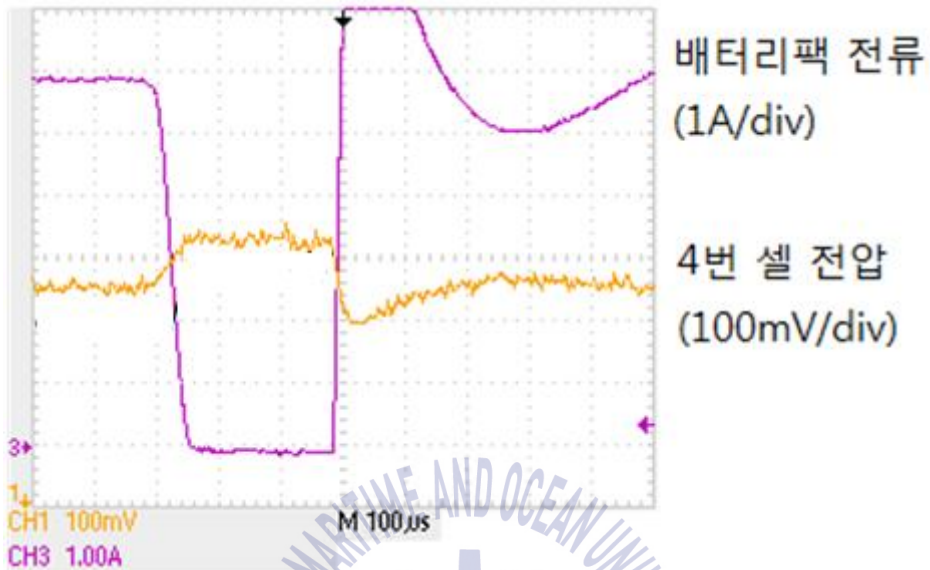


Fig. 22 No.4 battery cell parameter estimation wave-forms during operation

Fig. 22는 배터리가 약 6A의 전류로 부하에 의해 30분 동안 방전 중에 파라미터 측정을 위해 약 265 μ s동안 No. 4 셀을 회로에서 분리시키고 분리된 셀의 전압, 배터리 전체의 출력 전류를 측정하여 나타낸 파형이다.

운전 전 초기에 충전된 OCV는 3.304V이고, Fig. 21의 그래프에서의 운전 전 SOC를 SOC_{i0} 라 하였을 때 $SOC_{i0}=0.761$ 이며, 현재의 SOC를 전류 적산법을 이용하여 구하면 아래 식(7)과 같다.

$$SOC_b = 0.761 + \frac{-6A \times 0.5h}{10Ah} = 0.461 \quad (7)$$

SOC가 0.461일 때 그래프를 참조하면 OCV는 3.263V로 바뀌어 진다. 이 때 운전 중의 파라미터 R_1 과 R_2 는 V_{R_1} 은 초기 전압 값(3.2099V)와

이 후 측정된 전압 값(3.1283V)의 차이로 0.0816V이며 R_1 은 6A의 전류와 앞서 계산된 전압 차로 인해 $R_1=13.6m\Omega$ 을 구할 수 있고, V_{R_2} 는 초기 전압 값에서 R_1 에 의한 전압 강하와 C가 안정된 상태에서의 전압 값을 이용하여 $V_b - V_{R_1} - V_i = 0.0531V$, $R_2=8.85m\Omega$ 로 추정할 수 있다. 위에서 추정한 값과 앞서 측정한 운전 전 R_1 , R_2 값을 비교하면 R_1 값은 유사하나 R_2 는 약 14.7%의 차이를 보인다. 이러한 차이는 운전 전에 구한 초기 R_2 는 R_2 가 계산되기 까지(본 논문에서 301초) 비교적 긴 시간이 걸려 도중의 셀의 OCV가 조금씩 변하여 운전 전의 R_2 값이 더 큰 것으로 보여 진다.



3.3 실험 및 결과 고찰

3.3.1 High-reliability BMS

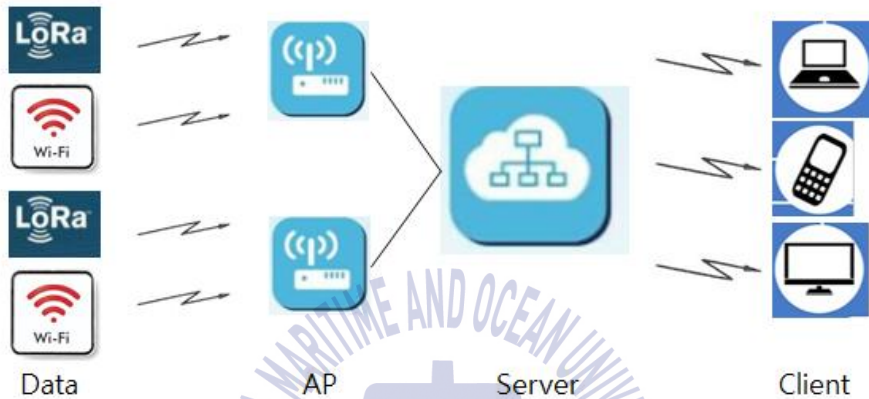


Fig. 23 High-reliability BMS conceptual diagram

Fig. 23은 High-reliability BMS의 Block diagram이다. Wi-Fi 및 LoRa 등을 통하여 데이터 값을 AP를 통하여거나 또는 직접 서버에 신호를 보내고 이를 Client가 인터넷이 연결된 곳이라면 어디에서든지 모니터링 할 수 있도록 구성하였다.

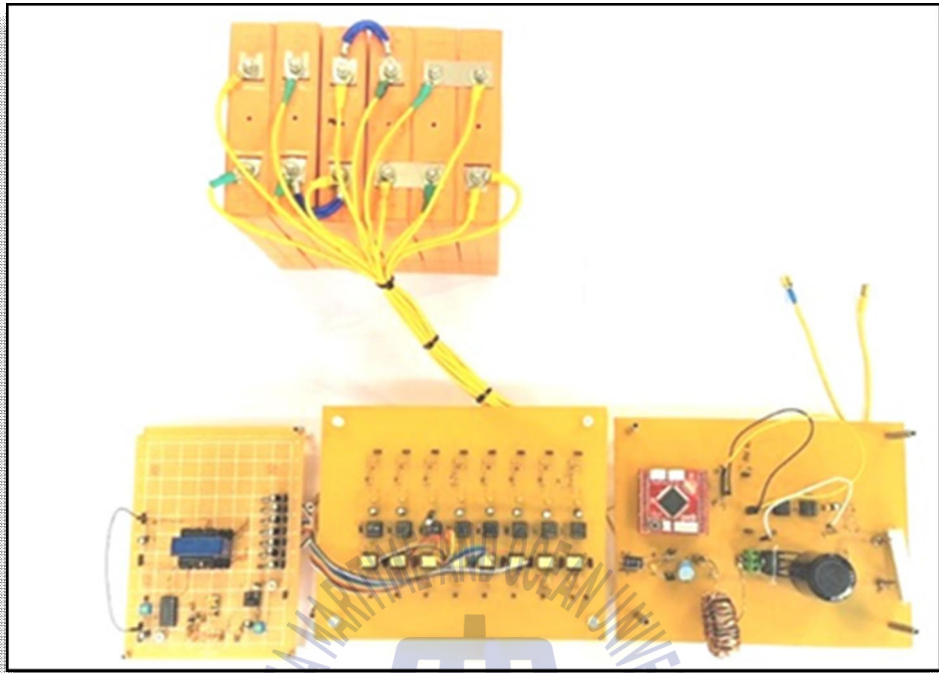


Fig. 24 Hardware for experiment

Fig. 24는 High-reliability BMS의 실험 장치이다. 부하로는 ODA 社의 전자로드인 LP900A를 이용하였고, 측정된 배터리의 데이터는 Wi-Fi 또는 LoRa의 무선 통신 모듈을 사용하거나 RS-232를 통하여 전송하고, 모니터링 소프트웨어는 NI 社의 Labview 프로그램을 사용하였다. 배터리의 전류, 전압, 온도가 그래프로 표시된다. 배터리의 OCV는 물론 OCV로부터 산출한 배터리의 SOC, 배터리의 단자전압 등을 표시하고, SOC의 한계치 도달 시 경고해주는 기능인 SOC warning을 추가하였다. 또한 온도 값을 모니터링 하다가 일정 온도 이상이 올라갔을 경우 알람을 주는 Temperature warning 기능도 구성하였다. 전류의 경우 배터리 팩에 흐르는 총 전류를 통하여 모니터링하고, 이 또한 Current warning을 통해 과전류를 모니터링 할 수 있도록 구현하였다.

MCU는 Atmel 社의 8Bit CPU인 Atmega128을 사용하였으며, 동작 주파수는 16MHz이다. SW 및 Controller는 MCU로부터 출력된 PWM을 Photocoupler의 한 종류인 TLP250 소자로 절연시키고, 게이트 증폭회로인 IR2117 이용하여 전원장치의 IGBT 소자로 신호를 보내주는 제어기이다.



3.3.2 배터리 SOC 측정에 의한 고장 검출 및 과도상태 분석

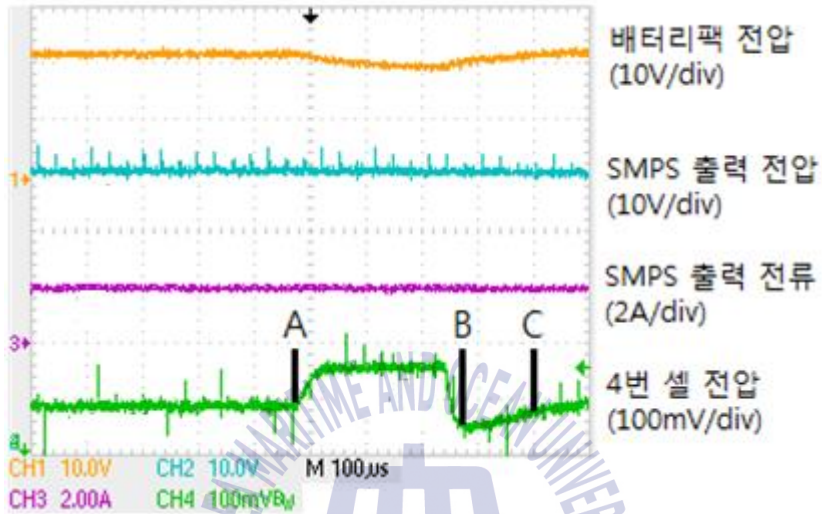


Fig. 25 No.4 Battery cell parameter estimation wave-forms during bypass operating test

Fig. 25는 시스템 동작 중에 파라미터 값 측정 시의 Bypass 회로 동작 여부와 과정을 확인하는 실험파형이다. 초기 안정상태의 전압은 위로부터 순서대로 23V, 48V, 2A, 3.161V이며, A와 B 사이의 안정전압은 3.218V이다. A시점에 파라미터 측정을 위해 바이패스 스위치를 ON시키면, SWs4는 OFF, SWp4는 on이 되어 SMPS(Switched mode power supply)로 전원이 연속적으로 접속된다. A시점부터 B시점까지(파라미터 측정시간)의 시간은 약 265us였으며, B시점부터 160us 이 후의 C시점에서 이 전의 정상동작 상태로 돌아오게 된다.

A시점에서 B시점까지 배터리 전압이자 컨버터의 입력전압은 No.4 셀의 전압인 3.2V 만큼 강하되었으나, 부스트 컨버터 출력전압은 듀티

비의 조정을 통해 거의 일정한 출력전압을 유지하고 있으며, 컨버터 출력전류 또한 연속성을 유지하고 있었다.

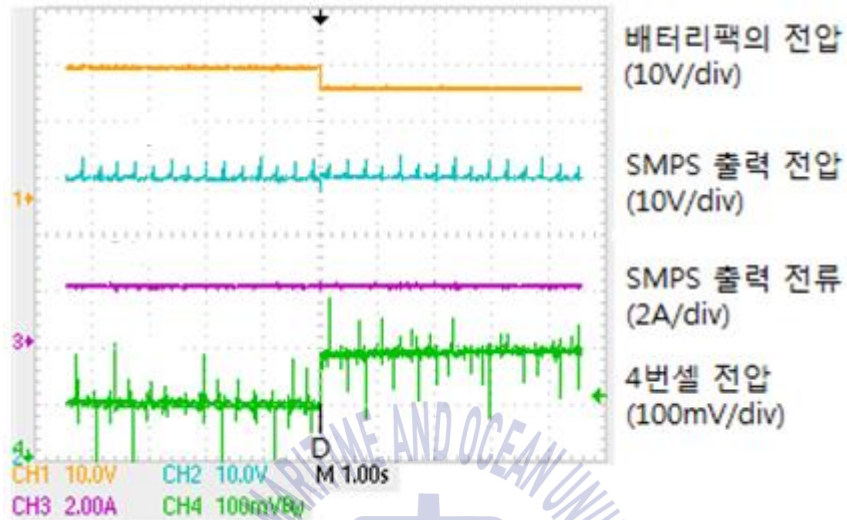


Fig. 26 No.4 battery cell parameter estimation wave-forms during bypass operating test at fault moment

Fig. 26은 운전 중 배터리에서 고장 신호가 검출되었을 때, Bypass 회로의 동작 여부와 특성을 확인하기 위한 실험파형이다. 초기 안정상태의 전압은 위로부터 순서대로 23V, 48V, 2A, 3.2V이다. D시점에서 셀의 고장검출이 될 경우 Bypass 스위치를 on 시키면서 SWs4는 Off, SWp4는 on이 되면서 고장 난 No.4 셀은 회로에서 분리되어 무 부하 상태가 되게 된다. 이때의 배터리 출력전압은 No.4 배터리의 전압을 제외한 나머지 6개의 셀에 의한 전압으로 강하되지만 부하에 공급되는 컨버터 출력단의 전압, 전류는 연속성을 유지하였다.

3.3.3 데이터 송신을 통한 원격 모니터링

측정된 데이터를 RS232 Serial 통신은 물론 Wi-Fi 및 LoRa를 통해 송·수신하는 방법에 대해 연구하였다. 또한 Apache, PHP, MySQL (APM)을 활용하여 Web server를 구축하였고, 정적인 데이터의 경우 개인 웹 서버를 통해 인터넷이 연결되는 외부의 PC는 물론 휴대용 기기(스마트폰, 태블릿 PC 등)에서 손쉽게 모니터링 할 수 있도록 하였다.

본 논문에서는 Apache, PHP, MySQL을 각각 설치하고 연동하는 작업, APMSETUP을 활용한 방법, XAMPP와 NetBeans IDE를 활용하여 구성하는 다양한 방법에 대해 먼저 실험하였다.

가장 기본적으로 정적인 데이터를 Web에 Upload하는 부분에 대해서 실험하였다. Text, 사진, 고정 값 등의 경우 HTML 또는 PHP 언어로 구성된 파일을 Server에 Upload함으로써 간단히 공유 할 수 있었다. Labview VI file을 HTML file로 변환하여 Server에 Upload하였고 이를 브라우저를 통해 확인할 수 있었다. HTML, PHP로만 구성된 웹에서는 화면을 웹 페이지에서 나타낼 수 있긴 하였으나, 주로 정적인 데이터를 표현하는 방법으로 그 한계가 존재했다.

이 한계점을 보완하기 위해서 2.3.4에서 언급 하였듯이, 실시간 양방향 통신을 위해서 Web Socket이 사용되었다. 또한 이 Web Socket과 Labview의 연동을 위해서 실제 LabSocket이라는 Package를 활용하게 되었다.

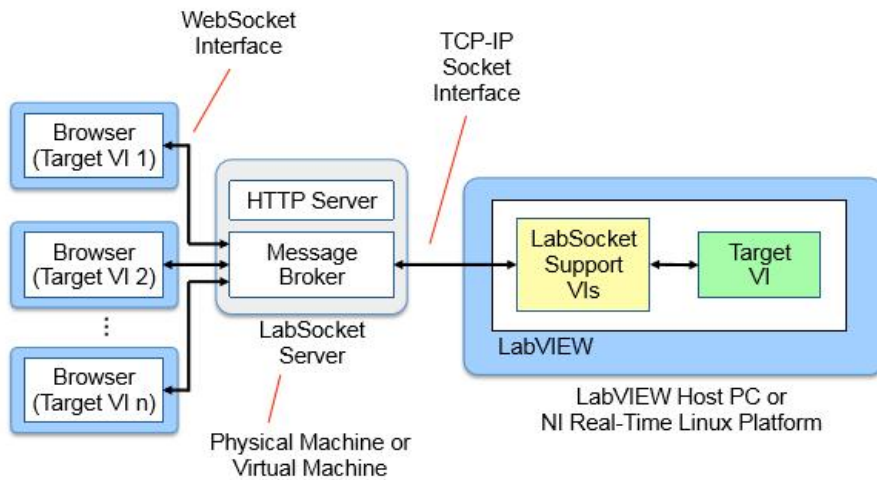


Fig. 27 LabSocket in basic client mapping mode

Fig. 27은 LabSocket의 개념도 및 Mapping mode이다. Client mapping 이 1:N 으로 설정이 가능하다. 이 모드에서는 각 브라우저에서 같은 종류의 데이터를 모니터링 및 컨트롤 할 수 있도록 한다.[13]

실제 LoRa의 신호를 Labview에서 그래프로 나타내고 스마트폰 및 PC에서 모니터링 하는 부분을 실험하였다. LoRa 모듈은 DORJI Applied Technologies의 SX1278 Long range RF DRF1278F 모듈을 사용하였다. 3.3V 동작 전압으로 RX 9.9mA와 200nA Register retention을 가지고 최대 동작 주파수는 433MHz이다. 해당 주파수 대역은 비 면허 주파수 대역으로 자유롭게 실험 및 시스템 구성을 할 수 있는 장점이 있다.

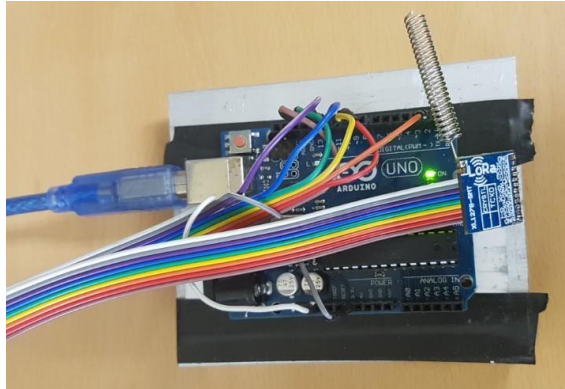
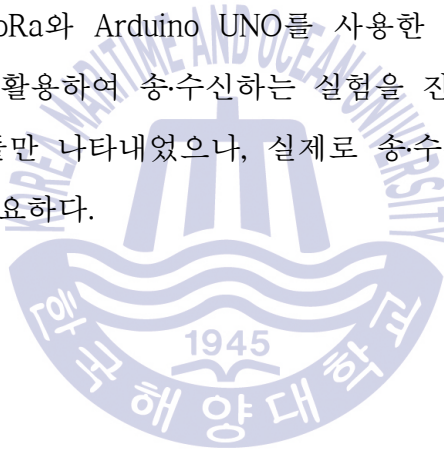


Fig. 28 Prototype of LoRa module

Fig. 28은 실제 LoRa와 Arduino UNO를 사용한 Prototype이다. 센싱 값을 LoRa 모듈을 활용하여 송·수신하는 실험을 진행하였다. Fig. 29에서는 송신부의 모듈만 나타내었으나, 실제로 송·수신을 위해 최소 2ea의 LoRa 모듈이 필요하다.



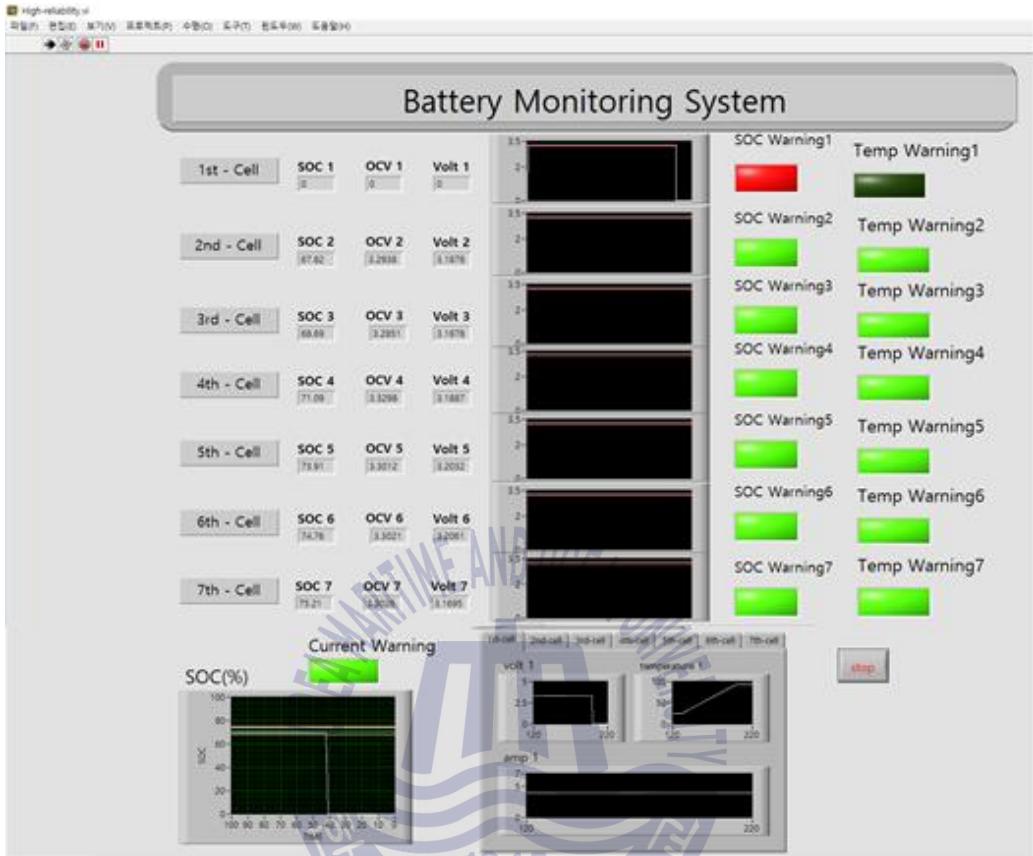


Fig. 29 Labview control panel (Server)

Fig. 29는 LoRa에서 전송되는 전압 값을 Labview로 받아 그래프로 나타내는 화면이다. 계측 및 신호처리를 함과 동시에 해당 PC가 서버 역할을 하거나, 서버로 전송한다. 즉, 해당 VI를 LabSocket을 이용하여 PC 및 스마트 기기에서 모니터링 하도록 하였다.

랩뷰 화면을 보면 각 배터리 셀의 전압 값을 나타내며, 동시에 OCV와 SOC를 나타내며, 이를 그래프로 표현한다. 해당 실험에서는 온도가 지속적으로 상승하여, No.1 배터리 소손이 일어나는 상황을 시뮬레이션 하였다. 우측 아래의 그래프에서 온도가 지속적으로 상승하여 90도

이상이 되었을 때, No.1 배터리가 소손되고, 이로 인해 No.1 배터리의 전압이 0이 된다. 실제로 SOC도 0이 되는 상황을 화면에서 보여주고 있다.

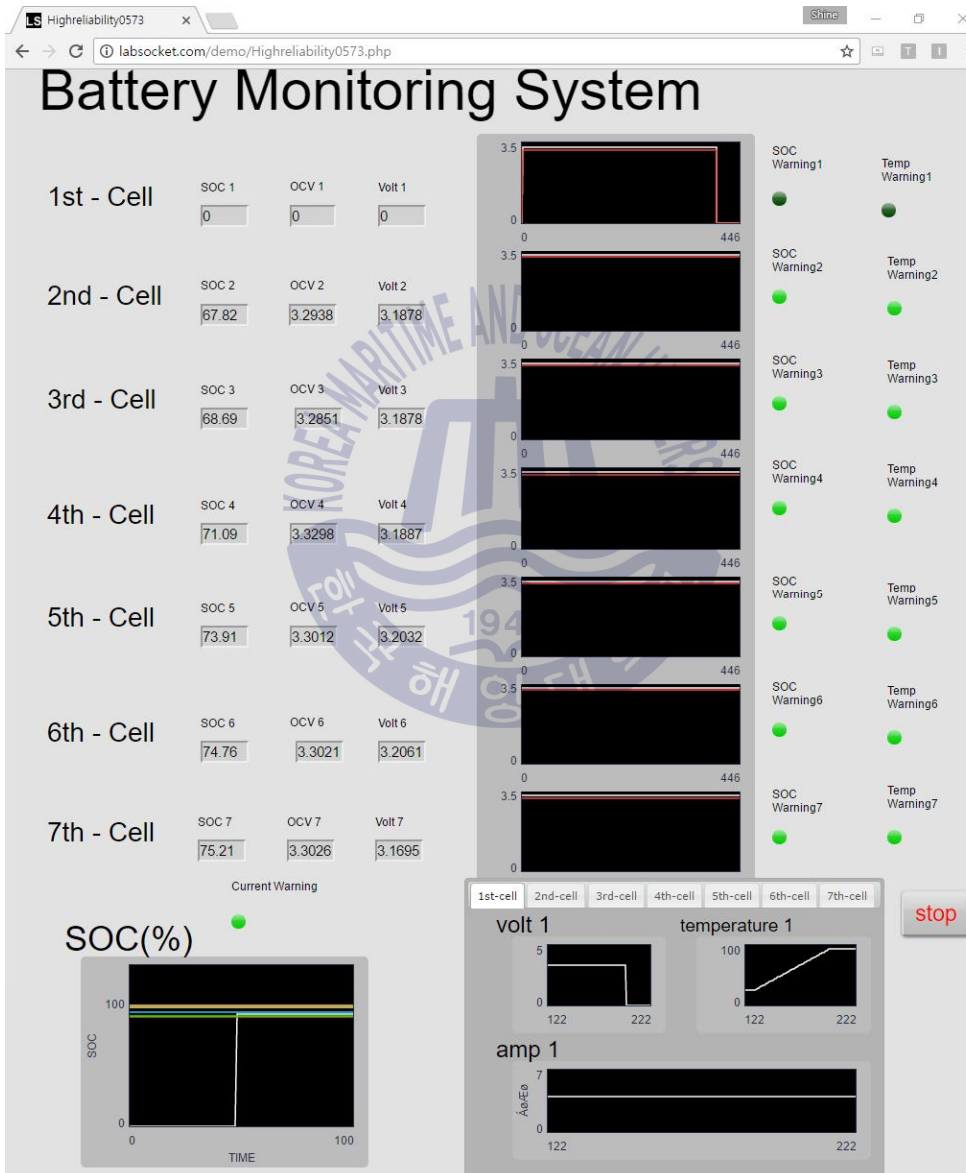


Fig. 30 Labview control panel (Client PC_browser)

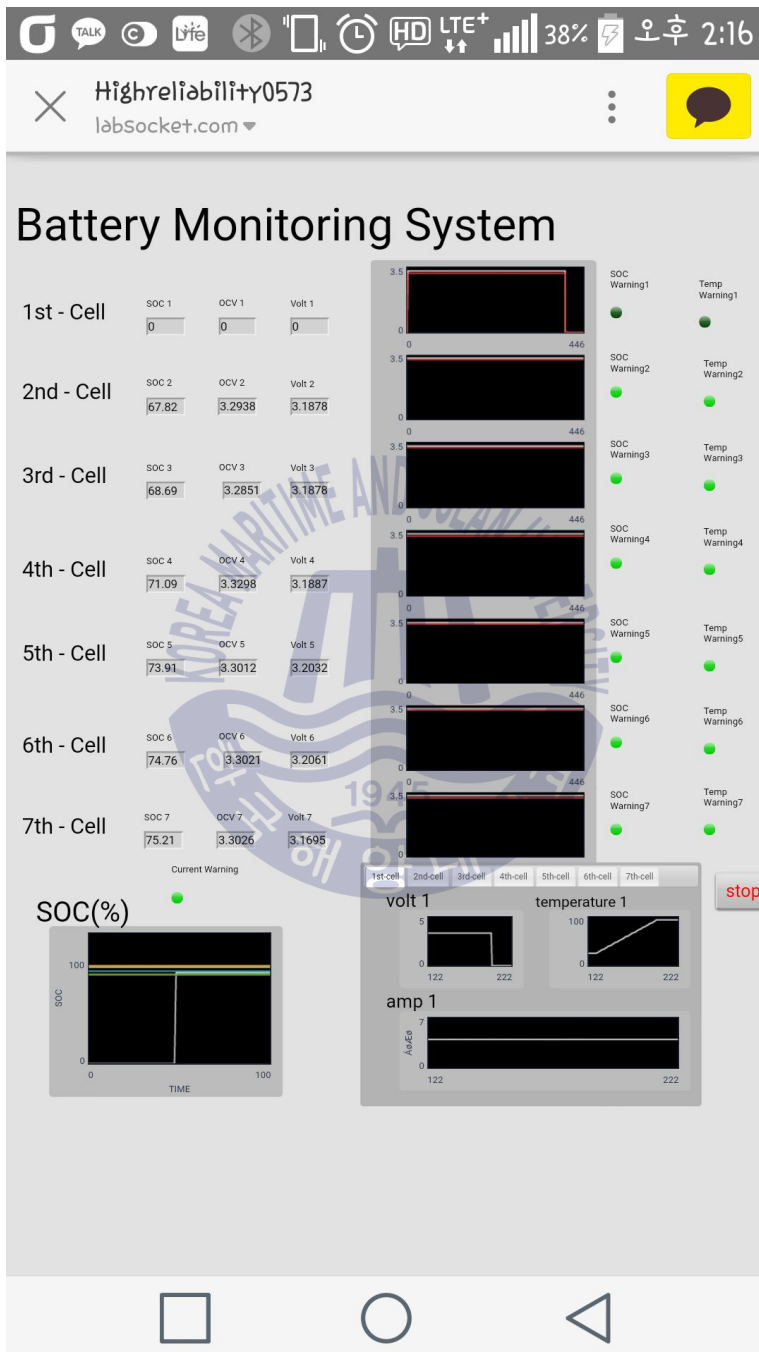


Fig. 31 Labview control panel (Client smart device)

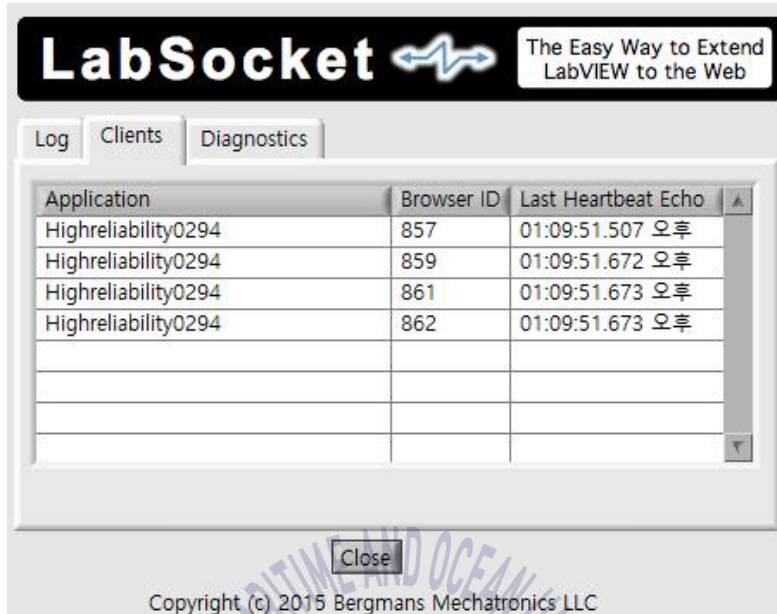


Fig. 32 LabSocket client monitoring

Fig. 30은 Fig. 29에서 서버에 Upload된 Labview 화면을 Client PC에서 Browser를 통하여 모니터링 하는 모습이며, Fig. 31은 LTE 신호를 이용하여 Smart device를 통하여 모니터링 하는 장면이다. Fig. 32는 Client가 동시에 같은 VI를 접근 및 제어할 수 있음을 보여준다. 위에서 보이는 바와 같이 4명의 Client가 동시에 접속하고 있음을 알 수 있다.

제 4 장 결론

본 논문에서는 전기자동차 또는 소형 또는 레저용 전기추진 운송수단에 많이 사용되고 있는 리튬인산철 배터리의 상태를 전류, 전압, 온도 등의 데이터를 검출하여 OCV를 추정하고, 이를 무선 통신 모듈을 통해 원거리에서 실시간으로 감시 및 제어하도록 구성하였다. 또한 배터리의 고장 발생 시 검출된 데이터를 바탕으로 컨버터 시스템의 신호를 제어하여 일부 셀의 고장에도 지속적인 출력 전압이 발생할 수 있도록 구성하였다. 통신을 위해서 사용된 방법으로는 유선으로는 RS-232C, 무선으로는 Wi-Fi 및 LoRa 모듈을 활용하여 AP를 통하거나, Server와 직접 통신하여 데이터를 송신하고 이를 모니터링 및 제어할 수 있도록 설계하였다.

위의 시스템을 설계하여 직접 다양한 실험을 진행한 결과 아래와 같은 결론을 도출 수 있었다.

1. 운전 전 초기 배터리 상태를 확인하기 위해 내부 파라미터 값인 배터리 내부 저항(R_1), 배터리 이온화 손실 저항(R_2), 배터리 내부 커패시턴스(C)를 측정하기 위해 초기 완충된 배터리에 전자로드 부하를 접속하여 6A의 전류로 정 전류 방전하여 시간에 따른 배터리 단자전압을 측정하여 실험 그래프를 얻었으며, 이 실험을 통해 배터리 셀 각각의 내부 파라미터 값을 구할 수 있었다.

2. 설계된 BMS는 시스템 동작 중에 고장이 발생된 셀의 이상 검출과 더불어 문제 발생 시 Bypass 회로를 제어하였고, 운전 중 흐르는 전류를 검출하여 SOC 산출을 통해, OCV를 추정함과 동시에 배터리 내부 파라미터 값들을 추정하였다. 추정된 배터리 내부저항(R_1)과 이온화 손실저항(R_2)에 대해 운전 전 초기 값과 운전 중 측정된 값을 비교하였을 때, R_1 의 값은 거의 유사하였으나, R_2 의 값은 약 14.7%의 오차를 보였다. 추정된 원인으로는 운전 전 초기에 구한 이온화 손실저항 값인 R_2 는 계산되기까지 약 301초라는 비교적 긴 시간(운전 중의 경우 약 265 μ s)이 걸리기 때문에 측정 도중에 셀의 OCV가 점점 변동되어 R_2 값 측정에 영향을 준 것으로 보인다.

3. 운전 중 고장 발생을 가정하였을 때, Bypass 회로의 스위칭이 동작하는 약 265 μ s 동안에 회로에서 분리된 셀 전압인 3.2V만큼의 전압 강하에도 불구하고, 부스트 컨버터의 Duty ratio 조절을 통하여 출력 전압과 출력전류는 거의 일정하게 연속적으로 유지되었다.

4. 현재의 시스템은 각 배터리의 고장진단과 Bypass를 위해서 각각의 배터리에 스위칭 소자가 필요한 만큼 스위칭을 통한 전력 손실 및 노이즈에 대한 최소화 방안에 대해 지속적인 연구와 제안된 알고리즘을 활용하여 배터리의 최적화 운용 방안과 안전성 향상에 대한 연구가 지속되어야 하겠다.

5. LoRa 모듈을 사용하면서 저 전력으로 데이터를 송·수신 할 수 있었다. 하지만 현재 LoRa 기술이 기존의 Smart device에 내장되어 있지

않아 추가로 송·수신부를 설계하거나, 이동통신 3사의 망을 이용하여 데이터를 수신하여야 하는 한계를 가진다.

본 논문을 위해 실험 장비를 제작 및 여러 측정을 하면서 노이즈로 인해 오차율이 발생하는 것을 알 수 있었다. 주로 스위칭 소자와 전력선에서 발생된 노이즈가 장비 또는 통신 라인에 영향을 미치는 것으로 예측된다. 노이즈 제거를 위한 필터 설계 및 데이터 신호 처리 시 오차율 저감에 대해 추가적인 연구는 물론 실험값의 정확성과 정합성을 높일 수 있는 방안에 대한 연구가 필요하다.

더불어 실제 산업현장에서 사용되는 배터리의 경우 직·병렬로 다수의 배터리가 연결되어 사용되고 있다. 즉, 실제로 본 기술이 양산화 되기 위해서는 병렬 연결된 배터리들의 파라미터들을 정확히 측정하고 여러 가지 예상되는 상황에서 최종 출력 전압을 일정하게 유지하는 기술이 다각도로 연구되어야 하겠다.

LabSocket을 통하여 다양한 실험값에 대한 원격 모니터링이 가능하였지만, 자바 언어로 변환하는 과정에서 그래프의 Scale이 달라지거나, 양방향 데이터 통신 시 데이터의 양이나 형태에 대한 제약이 존재하는 단점이 있었다. 또한 Server와 LabSocket을 통한 원격 모니터링 방식의 경우 최근 랜섬웨어(Ransomware)와 같은 악성 소프트웨어의 공격에 취약할 수 있으므로 보안에 대한 많은 연구와 기술 발달이 필요하겠다.

참고문헌

- [1] 조만, 이창환, 2012. 배터리전기자동차의 기술동향 및 특허출원동향. 에너지공학, 21(2), 86-108
- [2] 이현석, 오진석, 2016. 소형 연료전지 선박을 위한 GUI 기반의 통합 모니터링 시스템. 한국정보통신학회논문지, 20(12), 2235-2242
- [3] 두산백과, 2017. 망가니즈건전지
- [4] 메가트렌드, 2016. ‘차세대 이차전지’ 완전정복
- [5] GAMRY Instruments, 2017. Testing Lithium Ion batteries
- [6] 노동윤, 2011. OCV를 이용한 리튬 이온 배터리의 SOH 추정방법 연구. 석사학위 논문. 고려대학교, 서울.
- [7] 권혁주, 2016. BLE 기반의 선박용 리튬 배터리의 원격관리시스템에 관한 연구. 석사학위 논문. 한국해양대학교, 부산.
- [8] 정춘화, 박영일, 임원식, 차석원, 2012. 전기차의 회생제동에 따른 배터리 SOC 추정방법에 대한 연구. 한국자동차공학회논문집, 20.1, 119-123.
- [9] 배선호, 전승욱, 박정욱, 2015. 배터리 방전 특성을 이용한 SOC 추정방법 연구. 대한전자공학회 학술대회, 1193-1195
- [10] 이안기술, 2016. Battery 용어 정의
- [11] 노승민, 2015. 초연결시대 기술융합을 위한 사물 인터넷 기술의 특허동향 분석. 한국정보통신학회논문지, 19(11), 2724-2730

- [12] Benedikt Ostermaier, Matthias Kovatsch, Silvia Santini, 2011. Connection Things to the Web using Programmable Low-power WiFi Modules. Proceedings of the Second International Workshop on Web of Things. ACM, 2011.
- [13] 브이피코리아(주), 2016. 저전력, 저비용, 고신뢰 무선통신 기술 ‘로라(LoRa)’
- [14] Naver 지식백과, 2017. APM에서의 서버와 클라이언트 구조
- [15] John Bergmans, 2017. LabSocket.com
- [16] 최정렬, 이성근, 2016. 하이브리드 선박 직류전원용 고 안전 BMS. 한국마린엔지니어링학회지, 40(7), 635-641



감사의 글

석사 학위과정을 무사히 마칠 수 있도록 다방면에서 도움을 주신 분들께 진심으로 감사드리며, 글로써 감사의 마음을 전합니다.

전기전자공학부 학사부터 석사과정까지 많은 정보와 지식은 물론 예와 도리를 가르쳐 주신 교수님들께 감사의 말씀을 드립니다. 대학교 1학년 때부터 실험실을 통해 많은 가르침은 물론 본 논문의 지도까지 언제나 큰 도움이 되어 주신 지도교수이신 이성근 교수님께 깊은 감사 말씀 드립니다. 더불어 본 논문의 심사위원장이신 김윤식 교수님, 위원이신 서동환 교수님 감사드립니다.

본 논문을 위해서 누구보다 많은 노력과 관심을 가져 준 전기제어실험실의 최정렬, 김민권 석사과정, 양현숙 박사과정, 권혁주 석사님께 특히 고마운 마음을 전합니다. 학사 시절부터 함께 해 온 김정훈 석사, 구봉규 선배, 송태현, 황선남, 김선율 후배님들에게 감사드리며 지속적으로 연구하고 발전하는 실험실 일원이 되었으면 좋겠습니다.

또한 Labsocket에 대해 다양한 채널을 통해 많은 조언을 해주신 Bergmans Mechatronics LLC의 대표이자 엔지니어인 Mr. John Bergmans에게 감사의 말씀을 전합니다.

회사 생활 중 시작한 석사 과정으로 이를 이해해주고 격려해주신 배강 파트장님, 최호영 과장님, 이만섭 대리님을 비롯한 파트원분들께 감사드립니다.

언제나 적극적으로 지원해 주신 아버지 어머니 누나들에게 사랑한다고 말하고 싶으며, 항상 옆에서 응원해주고 뒷바라지 해주는 슬기에게 고마움을 전합니다.

