



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

배터리 펄스 충전 최적화를 위한  
충전 주기에 관한연구

The study on the charge cycle for optimization  
of battery pulse charging



指導教授 李 成 根

2019年 2月

韓國海洋大學校 大學院

電氣電子工學科

宋 泰 賢

本 論文을 宋泰賢의 工學碩士 學位論文으로  
認准함.

委員長 金潤植 (인)

委 員 吉暻碩 (인)

委 員 李成根 (인)



2018年 12月

韓國海洋大學校 大學院

# 목 차

List of Figures .....	iv
List of Tables .....	vi
Abstract .....	vii
<b>1. 서 론</b>	
1.1 연구 배경 및 시장현황 .....	1
1.2 연구 필요성 .....	4
1.3 배터리 충전 시스템 .....	7
1.4 연구목적 .....	11
<b>2. 관련 이론</b>	
2.1 배터리 종류 및 특성 .....	12
2.2 BMS 이론 .....	16
2.3 내부 파라미터 .....	22
2.4 Electrochemical Impedance Spectroscopy .....	23
<b>3. 시스템 구성</b>	
3.1 하드웨어 .....	27
3.1.1 BMS 하드웨어 .....	27
3.1.2 EIS 하드웨어 .....	30
3.1.3 PCH 하드웨어 .....	35
3.2 소프트웨어 .....	36
3.2.1 BMS 소프트웨어 .....	36
3.2.2 EIS 소프트웨어 .....	38
3.2.3 PCH 소프트웨어 .....	40
3.2.4 충·방전 및 EIS 적용 소프트웨어 .....	42

<b>4. 실험 및 고찰</b>	
4.1 충·방전 시간 비교 실험 .....	47
4.2 EIS 적용 실험 .....	48
4.2.1 CC 충전 수명 실험 .....	48
4.2.2 PCH 실험 .....	50
4.2.3 CC/CV, PCH 방식을 이용한 배터리 충전량 분석 실험 .....	52
4.2.4 CC, PCH 방식을 이용한 배터리 수명 분석 실험 .....	54
<b>5. 결론</b> .....	55
<b>참고문헌</b> .....	57
<b>감사의 글</b> .....	60



## List of Figures

Fig. 1 Global market outlook of battery .....	1
Fig. 2 Electric vehicle road map of major automakers .....	2
Fig. 3 Lithium plating of battery .....	4
Fig. 4 Charging and discharging principle of lithium polymer battery .....	7
Fig. 5 CC / CV charging method .....	8
Fig. 6 Boost charging method .....	9
Fig. 7 Pulse charging method .....	10
Fig. 8 Types of batteries .....	13
Fig. 9 Manganese dry interior .....	14
Fig. 10 Internal structure of battery .....	15
Fig. 11 Characteristics of Battery C-rate discharge .....	17
Fig. 12 Impedance of lithium battery .....	18
Fig. 13 Battery model .....	22
Fig. 14 Impedance graph of damaged battery .....	23
Fig. 15 Waveform of AC voltage and sinusoidal response current .....	24
Fig. 16 Impedance graph of EIS .....	25
Fig. 17 Block diagram of BMS .....	27
Fig. 18 Block diagram of EIS .....	30
Fig. 19 Crossover distortion of push-pull amplifier .....	31
Fig. 20 Current measure circuit of battery charging/discharging .....	31
Fig. 21 Offset circuit of AC input pulse .....	32
Fig. 22 Waveform of injected AC Voltage .....	33
Fig. 23 Circuit of pulse frequency generator .....	33
Fig. 24 EIS module .....	34
Fig. 25 Device of pulse charger .....	35

Fig. 26	Algorithm of BMS before operation .....	36
Fig. 27	Algorithm of impedance measurement .....	38
Fig. 28	Algorithm of PCH .....	40
Fig. 29	Test flow chart .....	42
Fig. 30	Block diagram of experimental test .....	44
Fig. 31	Total experimental device .....	45
Fig. 32	Lithium polymer battery .....	45
Fig. 33	Test of charging/discharging time .....	47
Fig. 34	Impedance graph according to 500 cycles .....	48
Fig. 35	Impedance graph according to SOC .....	48
Fig. 36	Waveform of voltage and current using CC .....	50
Fig. 37	Waveform of voltage and current using PCH method .....	51
Fig. 38	Waveform of voltage and current of 3 types of charging ratio tested in PCH method .....	51
Fig. 39	Impedance graph of new battery .....	52
Fig. 40	Impedance graph of battery after 300 times charging/discharging	53
Fig. 41	Rs values using EIS method .....	54

## List of Tables

Table. 1	Specifications of battery .....	46
Table. 2	Condition of charging / discharging control .....	46
Table. 3	Result values of Fig.33 test .....	47
Table. 4	Control condition of charging / discharging .....	48
Table. 5	Rp values of new battery .....	52
Table. 6	Result values of Fig. 40 test .....	53
Table. 7	Result values of Fig. 41 test .....	54



# The study on the charge cycle for optimization of battery pulse charging

by Song, Tae Hyun

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

## Abstract

This paper is a study on charging cycle for optimization of battery pulse charging(PCH). It is common to charge the battery with a constant current(CC) or power such as constant current / constant voltage(CC/CV) and a constant voltage(CV) charging method which charges the battery for a long time. In this method, an increase in the charging time causes the lithium ions in the electrode to be continuously accumulated, causing concentration polarization, and lithium plating occurs, which affects battery charge capacity and lifetime. In order to shorten the charging time, the rapid charging method is being studied. It is known that the fast charging method using the constant current is the fastest. However, it's method can adversely affect lifetime or internal parameters of battery due to lots of charging. PCH methods such as PWM and PAM have been introduced to overcome the disadvantages of the CC/CV, or CC charging method.

In this paper, among the PWM charging methods, we investigated the optimum ratio of the discharging time to charging time(DTCT), and analyzed proceed the chargeability test and analyze the battery life and internal parameters using electrochemical impedance spectroscopy (EIS). For this study, a pulse charger and an EIS module are fabricated and pulse charging of On\_time / Off\_time type is performed here. In order to verifying the effect of battery lifetime using PCH method, we analyze the lifetime and internal parameters of battery by measuring the impedance using the EIS module every 50 times while charge / discharge the battery 500 times by applying the CC, and PCH method.

**KEY WORDS:** Constant Current / Constant Voltage, Pulse Charge, EIS

# 배터리 펄스충전 최적화를 위한 충전주기에 관한연구

송 태 현

한국해양대학교 대학원  
전기전자공학과

## Abstract

본 논문은 배터리 펄스 충전 최적화를 위한 충전주기에 관한 연구이다. 현재 정전류/정전압과 같은 일정 전류나 일정 전력으로 충전하다가 긴 시간 동안 충전하는 일정 전압 충전방식을 이용하여 충전하는 것이 일반적이다. 이 방식의 경우 충전시간의 증대로 전극 내의 리튬이온이 지속적으로 축적되어 농도 분극현상이 일어나며, 리튬 플레이팅이 발생 되어 배터리 충전량과 수명에 영향을 미친다. 또한, 최근에 충전시간을 단축하기 위하여 급속충전 방식을 활용하고 있으며, 대표적으로는 정전류를 활용한 급속충전 방식이 가장 빠르다고 알려져 있다. 그러나 정전류 급속 충전은 많은 전하량에 의해서 배터리의 수명이나 내부 파라미터에 악영향을 미치게 된다. 이러한 정전류/정전압 충전방식의 단점과 정전류 충전의 단점을 보완해주는 PWM, PAM 같은 펄스형 충전방식이 등장하였다.

본 논문에서는 PWM 충전방식 중에서도 충전시간 대비 방전시간(DTCT)을 비교하여 급속 충전 가능성 실험을 진행하고, 전기화학법 임피던스 분광법(EIS)을 활용하여 배터리의 수명 및 내부 파라미터를 분석한다. 본 연구를 위해서 펄스 충전기 및 EIS 모듈을 제작하고, 여기에 3가지 On\_time/Off\_time 종류의 펄스 충전을 수행한다. 펄스 충전방식을 이용한 배터리 수명에 대한 영향을 검증하기 위하여, 정전류, 펄스 충전방식을 적용하여 배터리를 500회 충·방전을 수행하면서 50회마다 EIS 모듈로 임피던스를 측정하여 배터리의 수명 변화 값과 내부 파라미터를 분석하였다.

**KEY WORDS:** 정전류/정전압, 펄스 충전, EIS

# 제 1 장 서 론

## 1.1 연구 배경 및 시장현황

친환경 자동차(xEV), 에너지저장장치(ESS), IT(드론, RC, 등) 시장의 성장으로 2차 전지(리튬전지 등) 수요가 커질 것으로 예상된다. 특히 독일 폴크스바겐의 ‘디젤 게이트’ 사건 이후 친환경자동차에 대한 관심이 높아졌다. Fig. 1과 같이 2018년에는 리튬배터리 매출액은 223억 달러로 전년 대비 19.3% 증가할 전망이며, 2015년 기준 10US\$에 이르는 규모가 2020년, 2025년에는 각각 36US\$, 90US\$에 이를 것으로 전망하고 있다. xEV가 전년 대비 34.0%, ESS가 전년 대비 28.6%, IT가 전년 대비 2.3% 증가할 것이 예상되기 때문에 모든 산업의 배터리 수요가 증가하고 있다.



Fig. 1 Global market outlook of battery

Fig. 1와 같이 전체 리튬배터리 시장은 2018년에서 2025년까지 연평균 27.0% 증가할 것으로 예상이 된다. 리튬배터리 시장이 기존 자동차의 대체시장으로서 주도할 전망이다. 2017년 전기 자동차 시장은 94억 달러에서 2020년 317억, 2025년에는 979억 달러로 급증할 것으로 예상이 된다. IT와 ESS를 포함한 2025년 시장규모는 1,190억 달러가 될 것으로 예상이 되며 2018년 대비 약 4배 이상 성장할 것으로 예상이 된다.

업체명	전기차 로드맵 내용
BMW	- 전기차 라인업: 2022년까지 BEV 10종 이상 라인업 공개 - 전기차 생산 비중: 2025년까지 전체 판매량 중 EV가 15~25% 차지할 것으로 예상 - 2018년 BEV+PHEV 판매량 14만대 예상
폭스바겐	- 전기차 라인업: 2025년까지 BEV 50종 이상, PHEV 30종 라인업 공개 - 2022년까지 차세대 자동차 투자 340억 유로 계획 - 아우디, 포르쉐 등 새로운 전기차 모델 런칭
다임러AG	- 전기차 라인업: 2025년까지 전기차 25종 이상 라인업 공개 - 전기차 생산 비중: 2025년까지 전체 판매량 중 BEV&PHEV가 25% 차지할 것으로 예상 - 베이징자동차그룹(BAIC)의 전기차 부문 자회사인 BJEV에 투자
도요타	- 전기차 라인업: 2020년 말까지 중국에 10종 신형 전기차 공개 - 2020년 중국 시장의 BEV도입을 목표로 중국 내 생산 구조 개선 및 연구개발 투자
GM	- 전기차 라인업: 2023년까지 20종 이상 신형 전기차 공개
테슬라	- 전기차 라인업: 2019년 전기트럭 '테슬라 세미', 2020년 미니밴 승합차 '모델Y' 공개 - 연내 새로운 SUV 공장을 건설 발표 - 테슬라 CEO 일론 머스크 "하반기 모델3생산 궤도로 인해 흑자전환 전망"

자료: 각사, IBK투자증권

Fig. 2 Electric vehicle road map of major automakers

최근 컨퍼런스 콜에서 글로벌 자동차 업체들이 미래 자동차에 대한 구체적인 로드맵에 대해 발표하였다. 독일의 전기 자동차에 대한 계획을 살펴보면 B사는 전기 자동차 모델을 늘리기로 하였고, F사는 아우디, 포르쉐 브랜드를 통해 새로운 전기 자동차 모델을 계획 및 출시할 것으로 밝혔다. D사의 경우 베이징 자동차 그룹(BAIC)의 자회사 투자 확대를 통해 시장 경쟁력을 강화하기로 했다. 일본의 자동차 대표 주

자인 T사의 경우에는 2020년까지 중국 시장에 새로운 10개의 전기 자동차 라인을 공개할 것으로 전망하였다. 미국의 G사의 경우 2023년까지 20개 이상의 전기 자동차 모델을 출시하기로 밝혔다.

또한, F사의 경우 연간 전기 자동차 300만대의 판매 목표를 위해 2025년까지 BEV 50종, PHEV 30종 이상을 판매할 계획이다. 특히 앞서 말한 2015년에 발생한 디젤 게이트 사건에 대한 이미지 회복을 위해 올해 총 9종의 새로운 전기 자동차 모델을 출시할 계획이다. 미국 테네시 주의 VW공장, 중국내 5개 생산 공장, 유럽 내 3개 공장 라인을 추가 해 총 16개의 전기 자동차 생산라인을 확보하기로 했다.

D사는 올해 초 중국 3대 자동차 기업 중 하나인 지리 자동차가 독일 다임러의 1대 주주로 올라선 만큼 향후 중국 내 새로운 공장 건설을 통해 전기 자동차(EV)의 생산이 가속화될 것이다. G사는 18개월 이내로 볼트 기반의 전기 자동차 2종 출시와 5년 내 새로운 전기 자동차 18종을 선보일 계획이다. G사의 집중된 부분은 전기 자동차 생산 비용의 절반 이상 차지하고 있는 배터리 셀 비용을 낮추는 전략이다. 현재 사용하고 있는 배터리 셀 가격은 kWh당 145달러로 향후 kWh당 110달러까지 비용을 줄여 2026년까지 전기 자동차 100만대를 효율적으로 생산할 계획이다. T사는 작년 전기 자동차(HEV, PHEV, FCEV 등) 판매량은 8% 증가한 152만대를 기록하였다. 올해 중국내 합작법인을 통해 새로운 전기 자동차를 중국 시장에 판매할 계획이다. 또한, 2020년부터 인도, 유럽 등에서 양산형 전기 자동차를 출시해 2030년까지 연간 550만대의 전기 자동차를 판매할 계획이다. [1][2][3]

## 1.2 연구필요성

전기 자동차가 상용화가 되기 위한 조건 중에서 가장 크게 보는 것은 ‘연료(전기)’가 떨어지지 않고 장거리 운전을 할 수 있는가의 여부이다. 전기 자동차의 보급이 급속도로 진행되고 있지만, 여전히 가장 큰 걸림돌은 충전시간 문제이다.

특히, 전기 자동차의 경우 가장 큰 문제는 주행거리가 많은 고속도로상에서 충전 문제로 고민을 해야 한다는 점이다. 고속도로의 경우 일정 구간 주행하고 나면 전기 충전소가 있는 고속도로 휴게소에 들러 충전을 위해 최소 한 시간가량을 무료하게 보내야 한다.

1990년 초반에 상용화된 리튬 2차전지에 보편적으로 사용하던 정전류/정전압(CC/CV, Constant Current/Constant Voltage) 충전방식은 낮은 용량감소, 긴 수명 등에 대한 장점이 있다. 그러나 CC/CV 충전방식을 이용하였을 경우 충전시간이 늘어남에 따라 문제가 발생하였다.

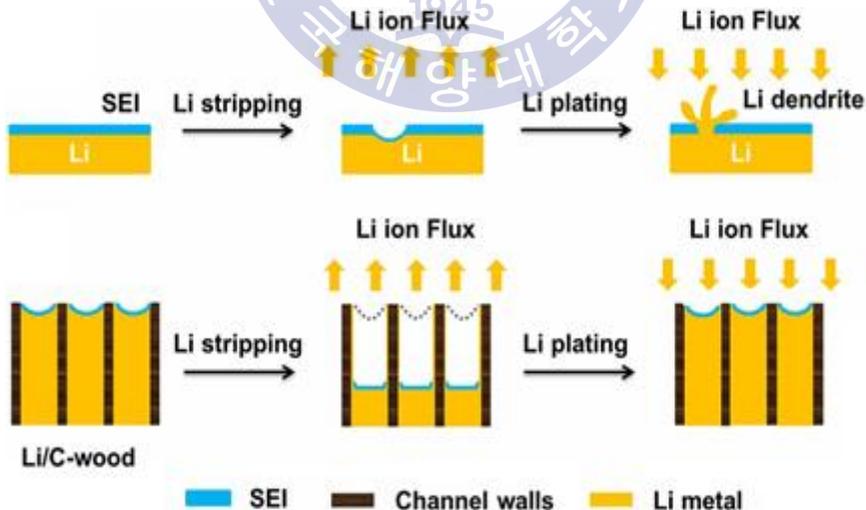
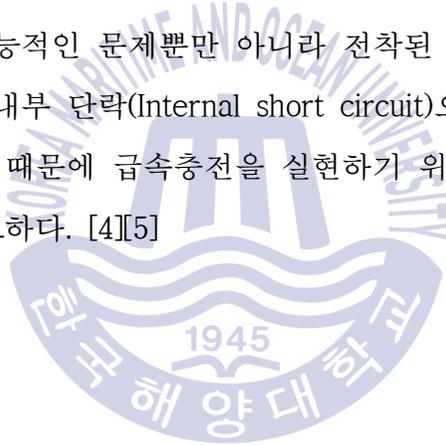


Fig. 3 Lithium plating of battery

전지 내부의 (+)극과 (-)극에서 일어나는 비안전성 상황도 있다. 즉 인조흑연(MCMB 25-28, Osaka Gas)의 음극,  $\text{LiCoO}_2$ 의 양극 채택시 양극의 전위를 지속적으로 감시하면서 CC/CV 충전한 결과 대부분 충전조건 중에서도 리튬 도금(Lithium plating) 현상은 고전류와 저온에서 가장 많이 일어났다. CC 충전범위에서조차 흑연 음극의 전위가 0V 이하로 떨어졌다. 리튬도금과 도금된 리튬이 흑연 속으로 재 삽입되는 과정이 함께 일어나면서 낮은 충전용량을 보였다. 전류가 일정 수준을 초과하면 전류 증가가 더 이상의 충전시간을 줄이지 못하고 리튬 도금을 악화시키고 CV 충전시간만 길어졌다. 게다가 전지 온도의 감소는 리튬도금을 더욱 악화시켰다. 극저온에서는 CC 충전은 불가능하고 리튬도금만이 전체 충전 과정을 수반하였다. [4]

CC/CV 충전은 CC로 최대전압(4.1 ~ 4.2V 사이)에 도달한 후 미리 설정한 낮은 전류(배터리 1000mah 기준 10mA)에 도달할 때까지 CV충전을 유지한다. 이때 CV충전의 조건은 CC충전 대비 충전시간의 연장을 동반할 수 있다. 즉 충전시의 전극 내 리튬이온 확산 단계가 되는데 장시간 확산으로 인해 필연적으로 농도분극을 야기하고, 특히 고전류 충전시 급속히 상한전압에 도달하기 때문에 활물질이 완전히 소비되기도 전에 전류가 미리 설정한 한계치로 떨어질 수 있다. 리튬 배터리의 경우, 양극을 과다 충전하면 발열 등으로 배터리 분리가 파손되고 단락을 유발, 치명적인 고장을 일으킬 수 있다. 이는 전해질이 가스를 방출하면서 배터리를 폭발시키는 원인이 될 수 있기 때문에 배터리 제조업체는 이를 방지하기 위해 배터리 충전 전력에 엄격한 제한을 두고 있다. [5]

특히 최근에는 배터리를 사용하는 기기와 전기 자동차 등의 발전과 함께 사용량의 증가로 인해 리튬 전지에서 충전시간을 단축시키기 위해 급속 충전에 대한 연구가 진행되고 있다. 급속 충전을 위해서 고전류를 사용하는데 이런 경우에는 리튬 전지의 수명이 급격히 감소하는 문제점을 지니고 있다고 알려져 있다. 이러한 이유는 음극으로 사용되는 흑연에서 리튬이온이 내부로 확산되는 속도가 충분히 빠르지 않기 때문에 CC/CV 단점인 리튬이 흑연의 표면에서 리튬전착(Electroplating)되는 부반응이 발생하는 리튬 플레이팅 현상이 똑같이 나타나기 때문으로 알려져 있다. 리튬전착으로 인한 문제는 저항 증가와 용량 퇴화의 성능적인 문제뿐만 아니라 전착된 리튬이 분리막을 뚫고 발생하게 되는 내부 단락(Internal short circuit)으로 인한 안전성 문제로까지 이어지기 때문에 급속충전을 실현하기 위해서 정확한 거동을 파악하는 것이 중요하다. [4][5]



### 1.3 배터리 충전 방법

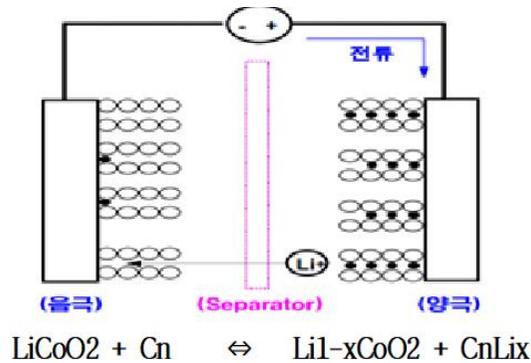


Fig. 4 Charging and discharging principle of lithium polymer battery

리튬 2차 전지는 두 양극(+)극과 (-)극으로 리튬 이온을 두 양극 간에 가역적으로 전달할 수 있도록 Fig. 4와 같이 구성된다. 전지는 Rocking chair principle 이라고 불리는 원리에 의해 작동되는데 이는 전지를 충전 및 방전함에 따라 리튬 이온이 양극과 음극 사이를 교대로 드나드는(“Rock“ back and forth) 것을 이야기한다. 이러한 원리는 리튬 금속 2차 전지의 작동 원리와는 근본적으로 다르며 충·방전을 함에 따라 양극과 음극 물질의 변화가 없기 때문에 안전하다. 제조공정에서 실시되는 첫 충전에 의해 양극의 리튬함유화합물로부터 리튬이온이 음극의 탄소소재에 이동된다. [6]

기존에 충전하는 방식으로는 여러 가지 방식이 존재한다. 그러나 배터리 수명과 무관하게 동일한 전력을 전달시키는 기존의 충전 방법은 배터리 수명 단축을 더욱 가속화시키는 원인이 될 수 있다. 배터리 노화가 진행되면 일반적으로 배터리의 내부 저항이 증가하므로, 동일한 충전 전력 전달 시에 내부 저항에 의한 내부 에너지 손실이 증가하기 때문이다.

이는 배터리 온도 상승의 원인이 되며 배터리 노화를 더욱 가속화시키는 원인이 된다. 또한 배터리 노화에 따라 배터리 충전, 방전 용량은 줄어드는 것에 비해 충전 시간은 오히려 증가하는 현상이 발생한다. [7][8][9]

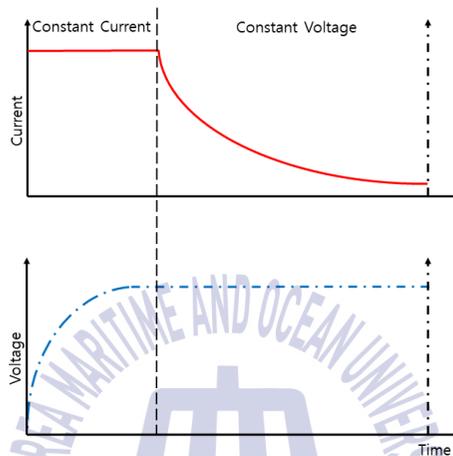


Fig. 5 CC/CV charging method

대표적으로 사용하는 충전 방식은 Fig. 5와 같은 CC/CV 방식이며 CC/CV 충전은 배터리의 전압과 배터리로 들어가는 전류를 지속적으로 확인하면서 정해진 전압과 전류로 충전을 진행하는 방법이다. 배터리 전압이 매우 낮은 구간에서는 낮은 전압에 의한 정전류 제어를 통해 충전을 진행한다. 이는 CC구간으로 낮은 전압으로 충전이 지속되다가 배터리 전압이 미리 설정된 전압 값 이상이 될 경우 CV 구간으로 변경되어 미리 설정된 완충 전압값으로 정전압 제어를 하여 충전을 하게 된다. 정전압 제어 중에 배터리로 들어가는 전류가 특정 전류 값 이하로 떨어지게 될 경우 완충으로 판단하고 충전을 종료하게 된다. 보통 배터리는 배터리 용량 70%일 때부터 전류 값이 떨어지기 시작하여 충전시간이 길어지는 구간이 된다.

CP/CV 의 경우 제어 방법은 CC/CV와 동일하나, 충전 용량 극대화를 위해 CC구간에서 좀 더 높은 전류를 충전하는 방법이다. CC구간 초반에는 배터리 전압이 낮으므로, 동일한 전력을 기준으로 좀 더 높은 전류로 배터리를 충전하는 방법이다. 전압이 낮은 구간과 CV 구간에서의 제어는 CC/CV와 동일하다. [7][8]

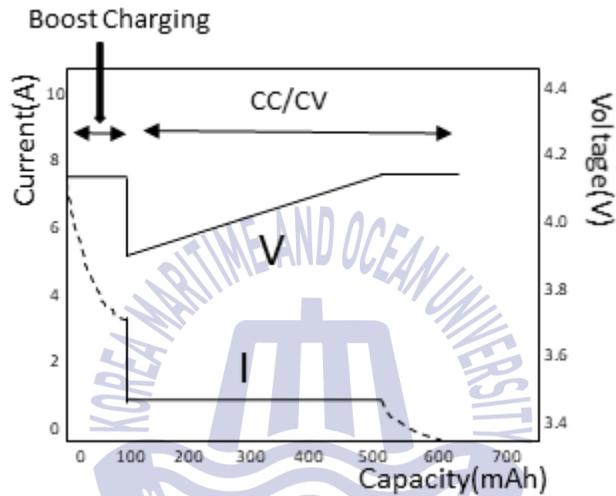


Fig. 6 Boost charging method

부스트 충전 방식(Boost charging)은 Fig. 6와 같다. 리튬 2차 전지를 매우 짧은 시간에 고전류로 충전할 수 있는 방식 초기의 짧은 시간 동안 CC충전(부스트 충전)을 하고 이어서 표준 CC/CV 충전을 시행한다. 초기의 부스트 충전기간 동안 초기에 충분히 높은 전류로 시작하여 감소하다가 표준CC/CV 모드에서 낮은 전류값으로 유지 및 감소된다. 초기의 정전압값은 CC/CV 모드의 정전압치보다 커야 한다. 이때의 전지에 들어가는 전류의 값은 정격 전류의 2배 이상의 값이 흐르므로 배터리 충전시간은 기존 CC/CV보다는 줄어드나 고전류에 의해서 배터리의 수명을 감소시키는 원인이 된다. [7]

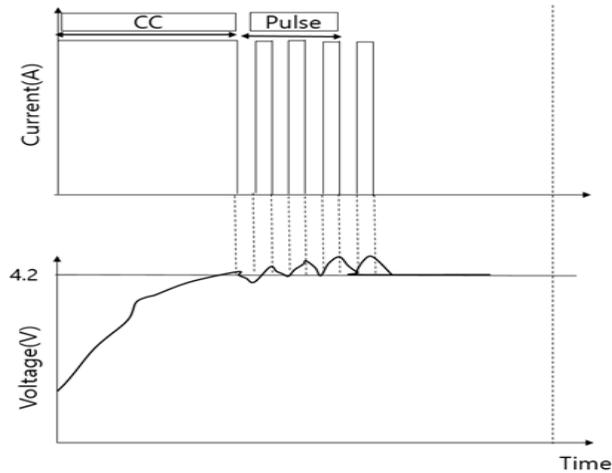


Fig. 7 Pulse charging method

펄스 충전(Pulse charging)방식은 전압을 일정하게 충전하는 기존 CC/CV 방식의 충전방식을 이용하지 않으며 초기단계에서는 CC 충전을 하고 CC 충전이 끝난 후 CV 방식에서는 충전전류의 감소를 기다리지 않고 적극적으로 정전류로 펄스전류를 흘려 넣는다. 이때 충전되는 전압은 배터리의 정격 전압을 오버하게 되지만 정전류 충전에 의해 충전 시간이 기존충전(CC/CV) 방식 대비 현저히 감소하게 된다. 또한 최근 펄스 충전 관련 연구에 따르면 CC 충전 대비 충전 중 에너지 손실 감소, 충전 시간 및 최대 상승 온도 감소, 충전 효율 및 수명 개선효과가 있다는 연구가 발표되었다. 이는 펄스 충전하는 방법이 CC/CV 충전할 때 발생하는 이온 축적이 감소하는 효과를 기대할 수 있기 때문이다. [7][9][10]

본 논문에서는 CC/CV 충전 방식의 세류 충전의 단점인 장시간 충전시의 전극내 리튬이온이 확산되어, 양 전하가 지속적으로 축적됨에 따라 발생한 농도 분극현상에 의해 리튬 플레이팅이 발생되어 배터리의 충전량과 수명에 영향을 준다.

이에 대한 해결방법으로서 펄스 충전 방식을 제안하며 배터리가 가장 충전이 안 되는 시점인 SOC 70%시점부터 펄스 충전을 시작하여 완충하는 방식을 이용하며 이에 대한 조건은 충전시간 대비 휴지시간의 비율을 이용하여 최적점을 찾는 연구를 진행하였다. [9][10][11]

#### 1.4 연구 목적

배터리를 이용한 제품은 안정적인 연료 공급과 공급시간 단축이 필수적이다. 리튬배터리는 기존의 전지 및 배터리에 비해 단위 면적당 출력량이 좋으나 물과 접촉하여 반응할 경우 폭발성에 대한 위험성이 높아 선박에서는 사용이 힘들었다. 하지만 기술의 발달로 인해 방습, 방진 기술을 이용하여 선박 및 일상생활에도 사용이 가능하게 발달하였다. 하지만 배터리의 용량이 증가할수록 배터리 충전시간 단축에 어려움이 있어 다양한 방식의 연구가 진행되고 있다. 다양한 방식 중에서도 가장 보편적으로 고려할 수 있는 펄스 충전 방식을 이용하여 리튬이차전지를 충전할 때의 전지성능에 주는 영향을 통해 배터리의 충전시간의 최적화된 펄스 주기에 대해 알아보았다. [9][11]

본 논문에서는 충전주기를 달리함으로써 배터리의 전압, 전류, 온도 등의 데이터를 기반으로 펄스 충전의 최적의 주기에 관해서 연구하였으며, 수백회의 배터리 충·방전을 한 후에 측정된 수명을 통해 펄스 충전이 수명에 미치는 영향에 대해 분석하였다.

## 제 2 장 관련 이론

### 2.1 배터리 종류 및 특성

배터리란 두 가지의 전극(양극과 음극)을 전해액에 잠기게 하여 각 전극의 활물질(Active material)과 전해액이 갖는 화학에너지(Cheical energy)를 전기에너지(Electrical energy)로 변환시켜 양극과 음극을 연결한 외부회로에서 전기적 에너지를 발생시킬 수 있는 능력을 지닌 것을 일컫는다. 음극의 산화반응에 의해 생성된 전자는 외부 저항을 경유하여 양극으로 이동하고 양극에 이르러 양극 물질과 환원반응을 일으킨다. 이때, 전해질 내에서 음극과 양극 방향으로의 Anion(Negative ion)과 Cation(Positive ion)의 물질 이동에 의해 전하가 흐르는 작업이 완성된다.

이렇게 전해질 내부에서는 외부도선에서 계속해서 전하가 흐르도록 반응을 일으키고, 이에 힘입어 외부도선에서는 흐르는 전하로 전기적인 일을 하게 되는 것이 전지의 작동 원리이다. 이 과정을 전지로 볼 때는 '방전'이라고 한다.

따라서 계속하여 전지가 전기적인 일을 하게 되면, 전지의 전압은 계속 낮아지고 결국 외부에서 전하를 이동시킬 수 없을 때까지 이르게 된다. 이때 폐기하게 되는 전지를 1차 전지라고 하고, 거꾸로 전하를 흘려주는 작업, 즉 다시 전지를 충전하여 사용할 수 있는 전지를 2차 전지라 한다. [12][13][14]

■ 전지의 분류

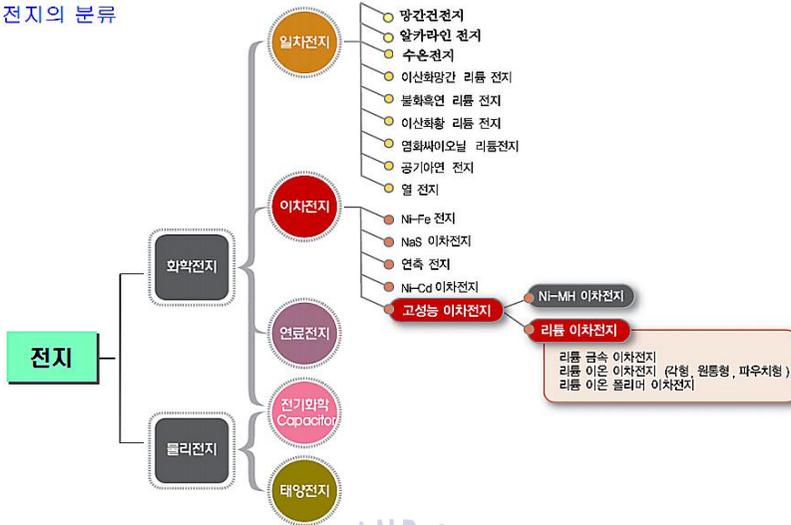


Fig. 8 Types of batteries

Fig. 8과 같이 배터리 전지는 화학전지, 물리전지로 구분이 가능하며 화학전지 안에서도 구성하는 연료에 따라서 일차전지, 이차전지, 연료 전지, 전기화학전지, 태양전지로 구분하며 대표적으로 1차 전지로는 망간건전지, 알카라인전지가 있으며, 이산화망간을 양극 작용(활) 물질, 아연을 음극 작용(활) 물질, 염화암모늄 또는 염화아연 등의 중성염 수용액으로 구성된 전지이며, 양극의 전압은 1.5V이다. 최근 2차 전지로 가장 연구가 활발하게 되고 있는 전지는 고성능 2차 전지 중에서도 리튬 2차 전지이다. 특히 앞서 1장에서 언급했듯이 전기 자동차 및 배터리를 이용한 제품의 증가로 인해 리튬 2차 전지는 상용화 및 연구가 활발하게 진행되고 있다. [13][14]

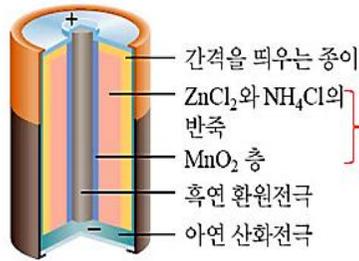
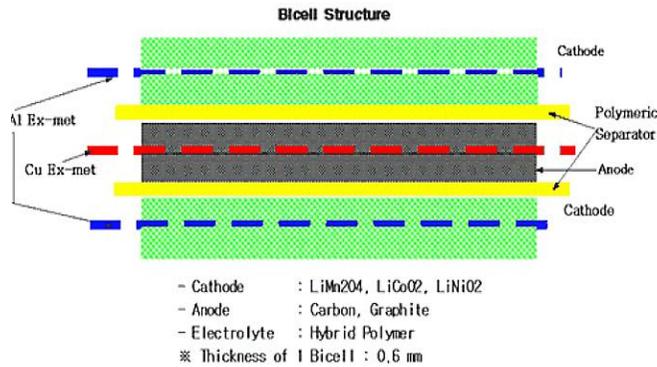


Fig. 9 Manganese dry interior

1차 전지 중 대표적으로 사용되는 알카라인 전지의 경우는 망간건전지와 마찬가지로 이산화망간을 양극 작용(활)물질, 아연을 음극 작용(활)물질, 전해액을 KOH 수용액으로 교체하여 Power를 강화시킨 전지이다. 양극의 전압은 1.5V이며, 망간건전지에 비해 중부하에 적합한 건전지이다. 2차 전지로 가장 많이 사용되었던 전지는 납축전지이다. 밀도가 1.25 g/mL 정도인 황산 용액에 (-)극 활물질로 Pb판을, (+)극 활물질로 산화납(PbO<sub>2</sub>)을 입힌 금속판을 넣어 만든 전지이며, 1개당 기전력 약 2.1V이다. 여러 개를 직렬로 연결하여 12V, 24V로 만들어 사용할 수가 있다. 납축전지는 이차전지로서 충전과 방전을 500회 이상 연속적으로 반복 사용이 가능한 반영구적 화학전지이다. [9][10]

겨울철에 온도가 내려가면 전해질의 점도가 상승하고, 이온의 이동이 느려져서 정상작동이 되지 않는 현상이 일어난다. 충전(전기분해 반응)의 경우 축전지의 전압이 1.8V 이하로 떨어지기 전에 외부에서 직류전원을 인가하면 역반응이 진행되어 기전력 회복, 황산의 농도가 진해지는 현상이 나타난다. 방전의 경우 (+)극과 (-)극에서 모두 불용성 물질인 PbSO<sub>4</sub>이 생성되며, 황산 용액의 농도가 묽어지는 현상이 나타난다. [13][14]



**Fig. 10** Internal structure of battery

본 논문에서 사용하는 배터리는 리튬 전지이며 이는 작고 가벼우면서도 에너지 밀도, 출력특성, 장시간 사용 등의 성능 면에서 가장 우수한 특성을 가지며, 현재 가장 많이 이용하고 있다. Fig. 10을 통해 알 수 있듯이 양극에는 활물질로 리튬코발트산화물 또는 리튬망간산화물을 사용하며, 음극에는 활물질로 내부는 콜로이드 고체를 사용함으로써 액체 전해질을 포함하지 않고 있다.

리튬 2차 전지는 휴대전화, 노트북 PC 등에 사용되고 있으며, 초박형이나 가공성을 요구하지 않는 분야에서 많이 사용이 되며 두께가 얇은 0.5mm로 제작할 수가 있으며 다양한 디자인의 모형으로도 제작이 가능하며 평균 3.7V의 높은 작동전압으로 각종 휴대전화의 소형화, 경량화를 가능하게 하고, 통상 500회 이상의 충·방전 반복이 가능한 장점을 가지고 있다. 리튬전지가 물과 접촉을 하게 되면 화학적 반응에 의해서 폭발 위험이 있기 때문에 보호회로가 장착된 팩 형태로 판매되고 있는데, 위험성만 제거되면 가볍고 높은 전압을 갖고 있어 향후 가장 많이 사용될 것으로 사료된다. [12][13]

## 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 모니터링 시스템을 통하여 최적의 조건으로 사용할 수 있도록 관리(Management)한다. BMS는 과충전 방지 등의 보호, 수집된 데이터(전류, 전압, 온도, SOC 등)를 외부장치와 연결하여 전송하는 통신 기능, 리튬전지의 경우 작동전압이 평탄하므로 전류를 측정하여 적산하는 방식의 충전량 확인기능을 가지며, 용량을 예측하고 운용 가능 시간을 계산하는 것 또한 BMS의 주요 기능이다. 그리고 BMS를 위해서는 Current rate(C-rate)와 Depth of discharge(DOD)에 대한 정보도 필요하다. [15]

C-rate는 Current rate로, 전지의 충·방전 시 다양한 사용조건하에서의 전류 값 설정 및 전지의 사용 가능한 시간을 예측하거나 표기하기 위한 단위로서, 충·방전 율에 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 식(2)와 같다. [15][16]

$$C\text{-rate}(C) = \frac{\text{방전 전류량}(A)}{\text{배터리 용량}(Ah)} \quad (2)$$

위의 식(2)에 나타나는 배터리의 정격용량은 1C rate에서 배터리용량 기준 1000mAh인 경우에 식(3)에 의해서 이상적으로 1시간 동안 1000mA로 방전한다는 의미이다.

$$1C : \frac{1000mAh}{1h} = 1000mA \quad (3)$$

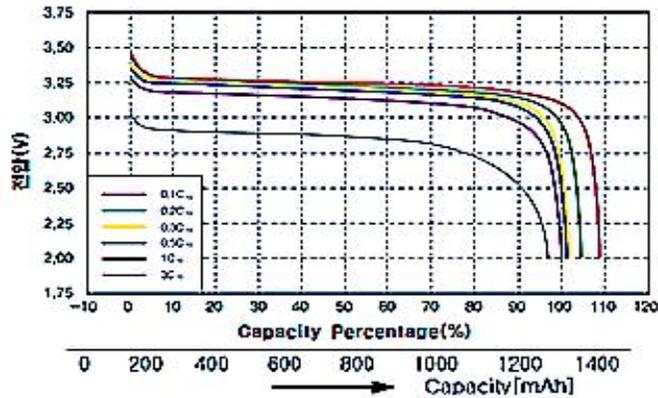


Fig. 11 Characteristics of battery C-rate discharge

배터리는 더 큰 C-rate를 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. 12는 증가하는 C-rate에 따른 어두운 녹색에서 밝은 녹색의 순서대로 5개의 방전 곡선을 보여준다. 코인 셀은 처음에는 4.2V로 충전되었으며 완충되기까지는 더 오랜 기간 동안 유지되었다. 그 이후 배터리는 3.0V에서 급격히 방전되었다. C-rate는 0.2C와 1.0C사이에서 변화되는 것을 관찰할 수 있었다. 이는 C-rate가 높아지면 배터리의 용량이 감소하고, C-rate가 낮을수록 배터리의 용량이 증가한다는 것을 증명하였다. [15][17]

DOD(Depth of discharge)는 전지의 잔존용량(SOC, State of charge)을 표현하는 다른 방법이다. DOD는 SOC와 반대 개념으로 DOD가 증가할수록 SOC는 감소한다. SOC가 전지 용량이 가득 찼을 때를 100%로 용량이 다 했을 때를 0%로 나타낸다면 DOD는 Ah와 백분율 수치의 두 가지 표현 방법을 사용하는데, 50Ah인 전지의 DOD를 Ah로 표현 경우에는 DOD가 0Ah이면 전지의 방전되지 않은 상태를 말하며, DOD

가 50Ah이면 전지가 완전히 방전된 상태를 말하게 된다. 또 어떤 전지의 DOD를 백분율로 표현할 경우에는 DOD가 0%이면 SOC가 100%이고 DOD가 100%이면 SOC가 0%인 상태를 말하게 된다.

일반적으로 전지를 표시된 용량만큼 사용한 뒤에도 약간 더 사용할 수 있기 때문에, DOD는 100%를 넘어설 수 있다. 그러한 상황을 SOC로 표현할 수 없기 때문에, DOD를 사용하여 나타내어야만 한다. [14]

배터리의 충전 상태를 표현하는 파라미터로 사용하는 SOC란 배터리가 완전히 방전되어 있을 때를 0, 완전히 충전되어 있는 상태를 1로 설정하여 현재 배터리에 전력이 충전되어 있는 상태를 나타내는 지표이므로, SOC 추정을 통하여 과충·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. [12][76]

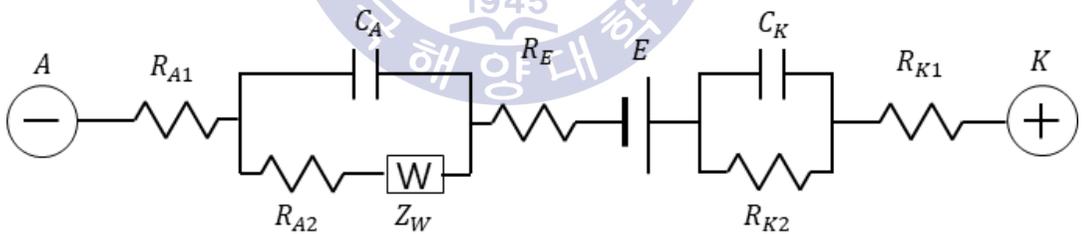


Fig. 12 Impedance of lithium battery

가장 많이 이용되는 배터리의 전기적 등가회로를 이용한 모델링 방법으로 배터리 RC로 나타나는 내부 임피던스는 Fig. 12과 같다. 전압 원으로 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 관

계를 이용하면, 여러 가지 방법으로 추정된 SOC의 오차 수정 및 보완이 가능하다. 2차 전지가 충전과 방전을 번갈아 가면서 수행하는 경우에는 이들의 충·방전을 효율적으로 제어하여 배터리가 적정한 동작 상태 및 성능을 유지하도록 관리할 필요성이 있다.

배터리 SOC 가 일정한 범위 내에서 변화한다고 가정할 때 전기 추진 운송수단에 필요한 에너지와 배터리 SOC의 관계는 배터리의 내부 저항 모델과 배터리 SOC의 정의에 의해 다음 식 (4)와 같다. [17][18]

$$\frac{d(SOC)}{dE} = -\frac{1}{Q_0 V_c \eta} \quad (4)$$

여기서 E는 운송수단에 필요한 에너지를 나타내고  $Q_0$ 는 배터리의 용량,  $V_c$ 는 배터리의 전압 그리고  $\eta$ 는 배터리로부터 휠 사이의 동력전달계의 효율을 나타내는데 주로 모터의 효율과 증감속 기어의 효율을 포함한다. 이 관계에 의해 임의의 주행 Cycle이 주어졌을 때 그것으로부터 E값을 구하고 그에 따른 배터리 SOC의 최종 값을 구할 수 있다.

배터리의 SOC를 측정하는 방법으로는 배터리에 흐르는 충·방전 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 이용한다. [12][15]

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

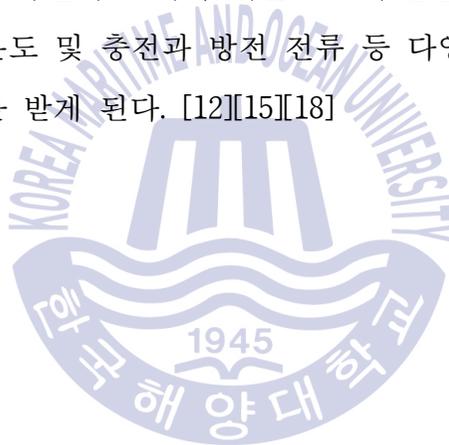
$$SOC = SOC_{init} + \frac{\int i_{discharge}}{k(i) \times Battery\ capacity[Ah] \times time[h]} \quad (6)$$

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 35 ~ 40분 사이이다. 따라서 이러한 방전 특성을 고려하기 위해 식 (5)를 통해 나타내었다. 식 (6)을 통해 방전 전류에 따른 배터리 방전 효율을 k(i)로 반영할 수 있으며 이를 통해 더 정확한 배터리 SOC 추정이 가능하다. [15][17]

수명을 판단하는 파라미터로 사용하는 SOH(State of health)는 배터리의 수명 상태를 의미한다. 배터리가 전혀 노화되지 않은 상태를 새 배터리라 정의하며, SOH 100%를 1로 나타낸다. 반대로, 노화가 지속돼 배터리의 사용이 불가능한 상태를 Aged라 정의하며, SOH 0%를 0으로 나타낸다. 그러므로 배터리의 SOH는 0과 1의 범위에서 값을 나타낸다. 1에 가까울수록 노화되지 않은 배터리의 상태를 의미하며, 0에 가까울수록 노화된 배터리의 상태를 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 요소라고 할 수 있다. [19]

초기의 SOH 추정 방법은 완충된 배터리를 일정한 방전전류로 일정한 조건으로 방전시키면서 총 방전 전하량을 측정하는 것이었다. 이

러한 방법은 장비 운전 중에 실시하기 어려운 점과 방전 실험 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. [12][15][18]



## 2.3 내부 파라미터

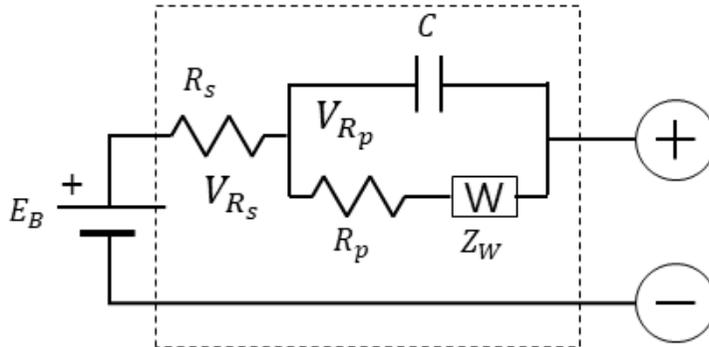


Fig. 13 Battery model

Fig. 13은 배터리의 파라미터를 표현한 등가 모델이다. 등가 모델은 배터리 내부 저항  $R_s$ , 충·방전에 의한 이온화 손실 저항  $R_p$ , 2중층의 커패시턴스  $C$ 로 구성된다.  $V_b$ 는 OCV를 나타내며, 사용량이 증가함에 따라 그 값이 줄어든다. Fig. 14에서 부하가 접속되면 단자전압  $V_i$ 는 식 (7)과 같이 나타낼 수 있다.

$$V_i = V_b - (V_{R_s} + V_{R_p}) \quad (7)$$

배터리의 저장 용량은 정전류가 완전 충전 상태에서 완전 방전 상태로 방전될 때의 방전 전하량으로서 정의된다. 배터리의 현재 충전 상태는 식(5), (6)에서 얻을 수 있다.  $SOC_{init}$ 는 배터리 초기 값과 식의 후단은 측정되는 방전 전류를 적분한 값을 방전용량으로 나눈 식이다. 이 방법은 값이 설정되고 전류 측정 시 발생하는 오차가 없다는 조건이 있으면 SOC 정확도가 매우 높기에 배터리의 SOC 측정 중 가장 많이 사용이 된다. [19]

## 2.4 Electrochemical Impedance Spectroscopy

전기 화학적 임피던스 분광법(EIS, Electrochemical impedance spectroscopy)은 전기와 화학이 결합된 전기 화학 분야에서 주로 사용이 된다. 전기는 전류 및 전압을 다루고, 화학은 물질의 변화를 다루는 것으로, EIS는 터미널의 주파수에 따른 전류 및 전압의 변화를 측정함으로써 인터페이스의 상태를 평가하는 방법이다. 배터리의 SOC 추정, 배터리의 손상 원인 추정, 배터리 생산 라인의 품질 검사 방법으로 많이 활용된다. 임피던스는 배터리 내 전극에서 화학 반응이 발생할 때 전기 전달을 방해하는 원인으로 해석할 수 있다. 또한 전기 화학적 측정은 AC 회로를 구성하여 주파수대별 전압 - 전류의 관계를 측정하여 이에 대응하는 저항 성분과 리액턴스 성분에 발생하는 화학 현상을 효과적으로 설명할 수 있는 방법이다. [17][20][21]

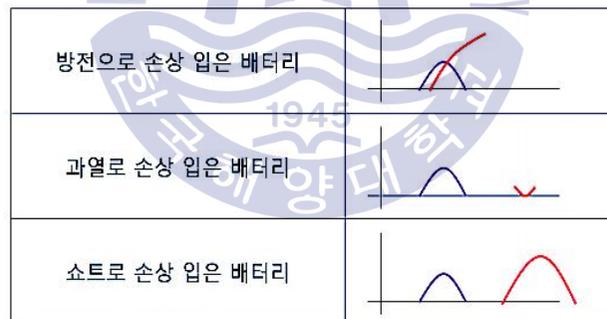


Fig. 14 Impedance graph of damaged battery

Fig. 14와 같이 임피던스는 배터리의 상태에 따라 다양한 형태를 보여주므로, 배터리의 내부 파라미터를 분석하기에 적합하다. 방전으로 손상을 입은 배터리의 경우에는  $R_s$ 는 측정이 되나  $C_p$ 는 제대로 측정이 안 되지 않게 된다. 과열로 인한 손상 입은 배터리의 경우  $R_s$ 값이 새로운 배터리에 비해 상대적으로 값이 크게 측정이 된다.

그리고 임피던스가 제대로 측정되지 않는다. 쇼트로 인한 손상을 입은 배터리는  $R_s$  값이 크게 나오게 되고  $C_p$  값도 작게 나오게 된다. 이를 임피던스 그래프를 이용해서 배터리의 상태를 분석할 수 있다. [17]

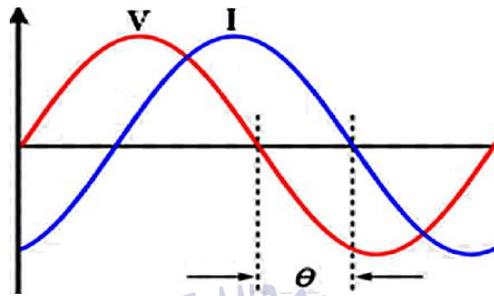


Fig. 15 Waveform of AC voltage and sinusoidal response current

임피던스는 AC회로에서 전류 흐름이 간접한 정도를 측정한 방식이며 임피던스가 클수록 동일한 전위차에서 전류가 더 작아진다. 임피던스는 복소수( $R+jX$ )로 나타낼 수 있으며,  $R$ 은 저항성분을 의미하고,  $X$ 는 리액턴스 성분을 의미한다. 저항성분과 리액턴스 성분은 2차원 방향을 포함하여 이는 2차원 벡터가 될 수가 있다. Fig. 15와 같이 전압( $V$ )을 배터리의 내부 임피던스로 유도하는 전류( $I$ ). 이 때, 전류( $I$ )와 전압( $V$ )의 시간차를 위상각( $\theta$ , Phase shift)이라 부른다. 임피던스  $Z$ 의 크기는 전압의 변화에 대한 전류의 변화 비율로 표현할 수 있으며 수식은 다음 식 (9)와 같다. [17]

$$\Delta Z = \frac{\Delta V}{\Delta I}, R = \sin\theta, X = \cos\theta \quad (9)$$

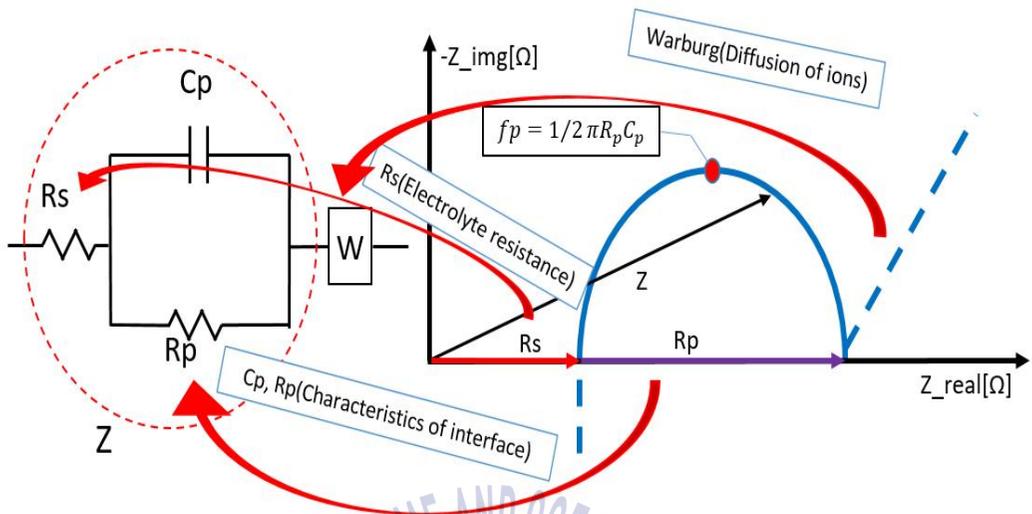


Fig. 16 Impedance graph of EIS

Fig. 16의 오른쪽은 배터리를 EIS기법을 이용하여 표현했을 경우에 나타나는 그래프이며 왼쪽은 그래프에 대한 정보를 통해 전기적으로 표현한 회로이다. 회로에 표현한 배터리의 내부임피던스  $R_s$ ,  $R_p$ ,  $C_p$ 는 배터리의 SOH, SOC를 추정할 수 있는 표본이 된다.

$R_s$ 값을 측정하는 경우에는 고주파의 AC성분을 배터리에 주입하여  $C_p$ 쪽으로 전류가 흘러서  $R_p$ 는 반응하지 않아서  $R_s$ 에 대한 전압 및 전류만 측정이 되고, 이렇게 측정한  $R_s$ 값은 수명을 판단할 수 있는 변수가 되며 충·방전 횟수가 진행될수록  $R_s$ 의 값은 커지게 되어 오른쪽으로 이동함을 이용하여 배터리의 노화정도를 알 수 있는 척도가 된다. [17][21]

$R_p$ 와  $C_p$ 는 전류에 의한 이온화 손실 저항을 의미하며  $C_p$ 는 전극과 전해질 사이의 전기 이중층에 의한 축전기 기능을 상징한다.  $C_p$ 와  $R_p$ 는 배터리의 충전상태를 알 수 있는 기준이 되며, EIS 기술을 이용하

여 측정을 할 경우 주파수가 낮아질수록 Cp에 에너지가 충전이 되게 되고 Rp도 측정이 되기 시작한다. 그리고 일정 주파수 이후부터는 Warburg(W)에 의해서만 반응을 하게 된다. Cp값은 Xc값을 이용한 식 (10)을 이용하여 충전 상태를 유추할 수 있다. [17]

$$X = -j \frac{1}{\omega C} = -j \frac{1}{2\pi f C} \quad (10)$$

그래프의 Y축은 임피던스의 리액턴스를 표현하므로  $-Z_{img}$ 로 표현하고, X축은 임피던스의 저항을 표현하므로  $Z_{real}$ 로 표현하였다. 그래프는 주파수에 따라 변화하는 배터리의 내부 파라미터를 이용해서 2차원적으로 표현하였다.



## 제 3 장 시스템 구성

실험을 위해 제작한 펄스 충전기는 배터리와 충전 직류전원 제어부, 배터리 측정 센서부, 모니터링 단자 부로 구성하였다. 배터리 셀의 전압, 전류, SOC, 온도 등을 측정하여 배터리의 상태를 점검한다. 측정된 데이터는 MCU로부터 연산하여 배터리 SOC를 나타내고 값을 RS-232 통신을 통하여 모니터링 PC로 데이터 값을 전송하여 한눈에 파악하기 쉽게 제작하였다. 또한, EIS를 이용하여 배터리를 측정하였을 때 이상이 있는 경우에는 알람을 울리도록 하여 배터리의 상태를 점검한다.

### 3.1 하드웨어

#### 3.1.1 BMS 하드웨어

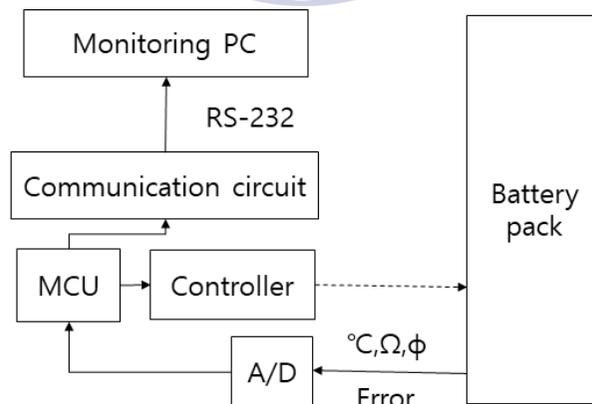


Fig. 17 Block diagram of BMS

Fig. 17은 BMS(Battery management system) 블록 다이어그램이며 배터리를 제어, 관리, 분석하기 위한 시스템이다. BMS는 4가지로 분리할 수가 있으며 데이터 연산부, 상태 감시 부, 제어 명령부, 통신부로 나눌 수 있다. 본 논문에서의 BMS는 데이터 연산부가 배터리의 측정된 전압, 전류를 통해 위상차를 계산하여 임피던스값을 계산하고 PC로 값을 전송하여 그래프 및 도표로 표시한다. 상태 감시 부에서는 배터리의 안전을 위해서 전압, 전류, 온도 등을 측정하고 있으며, 알고리즘 연산부에서는 SOC와 주파수에 따른 임피던스 값을 연산한다. 제어 명령부에서는 보호 기능 및 충·방전 작업을 수행하기 위해 S.S.R(Solid 과충전, 과전류 등에 대해서 차단이 되게 보호 기능도 포함하고 있다. 그리고 통신부에서는 PC로 모니터링을 가능하도록 RS-232를 이용하여 데이터 값을 전송하도록 하였다.

데이터 연산부의 경우 배터리의 상태를 확인하기 위하여, 필요한 데이터를 수집하는 과정으로서 배터리의 전압, 온도, 전류 등을 측정한다. 측정된 데이터는 연산을 통해 배터리를 관리할 수 있는 근거로 사용되며 이에 대한 설명은 다음과 같다.

- Voltage : 배터리의 전압으로, 배터리의 충전 상태에 따라 보통 4.2V가 넘으면 과전압, 3.0V 이하면 저전압 상태를 우선적으로 판단하는 기준으로 사용된다. 본 실험에서는 4.2V에서 최대 충전전압, 3.0V에서는 최저전압으로 설정을 하였다.

- Current : 배터리에 흐르는 전류로, 전류 측정 방법에는 자기장 속의 도체에서 자기장의 방향으로 전류가 흐르는 원리를 이용하여 자기장과 전류 모두에 전기장이 나타나는 Hall effect를 이용하여 전류 센서(CT)를 이용하는 방법과 전류계의 최대 눈금 값을 넘는 전류를 측정하기 위해 피 측정 전류의 일정 비율만을 전류계에 흘리기 위해 계기

와 병렬로 사용하는 분로 저항을 이용한 Shunt resistor를 이용하는 방법이 주로 사용된다. 본 실험에서는 Shunt resistor 저항을 이용해서 전류 값을 측정하였다. [12]

- Temperature : 배터리는 열화현상에 대해 영향을 많이 받는다. 특히 일정한 기준 이상의 열화현상이 일어나면은 폭발의 위험성이 있기 때문에 신중을 기해야 한다. 배터리 온도를 측정하는 방법은 열전대, 센서 등을 통한 측정 방법이 일반적이다. 본 실험에서는 써미스터를 이용하여 위험 온도 두어 실험을 하였다. [12][15]

위의 전압, 전류, 온도 등의 데이터는 배터리를 관리 및 보호하기 위한 자료로 사용된다. 문제 발생 시 상황을 외부에서 모니터링 하거나 자동적으로 배터리를 차단할 수 있도록 시스템을 설계하는 것이 중요하다.



### 3.1.2 EIS 하드웨어

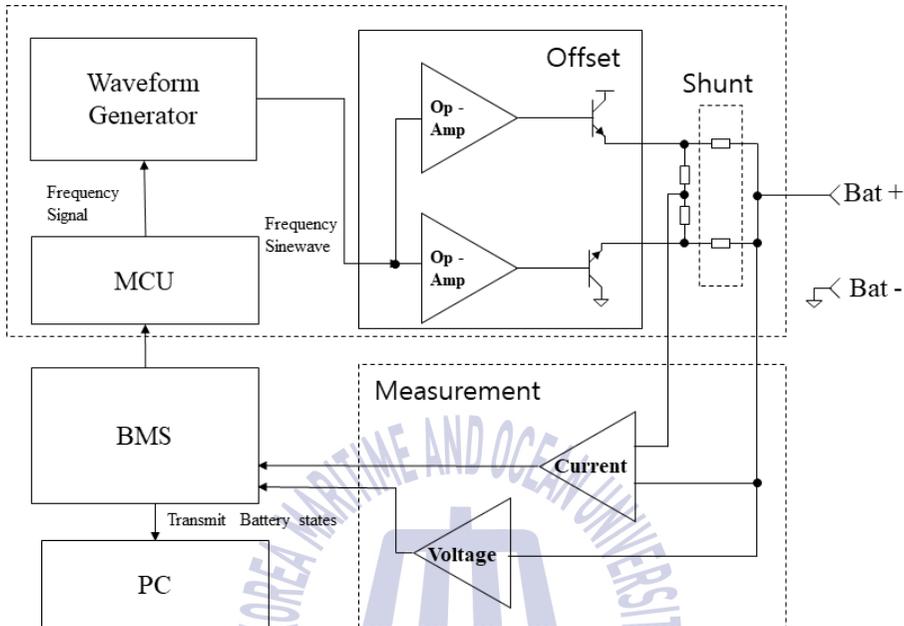


Fig. 18 Block diagram of EIS

Fig. 19에서 표현하는 EIS 모듈의 블록다이어그램은 주로 MCU, Offset 회로, 측정 회로, PC 전송, BMS로 구성된다. MCU로부터 주파수 신호를 발생시켜 주파수를 증폭시켜서 배터리의 정보를 읽어 온 다음 BMS를 이용해서 PC로 값을 전송하고 및 다음 주파수의 신호를 발생한다. 본 논문에서는 기본적인 회로는 Push-pull 회로를 기초로 BJT 사이에 Shunt 저항을 이용하여 전류를 측정하였다.

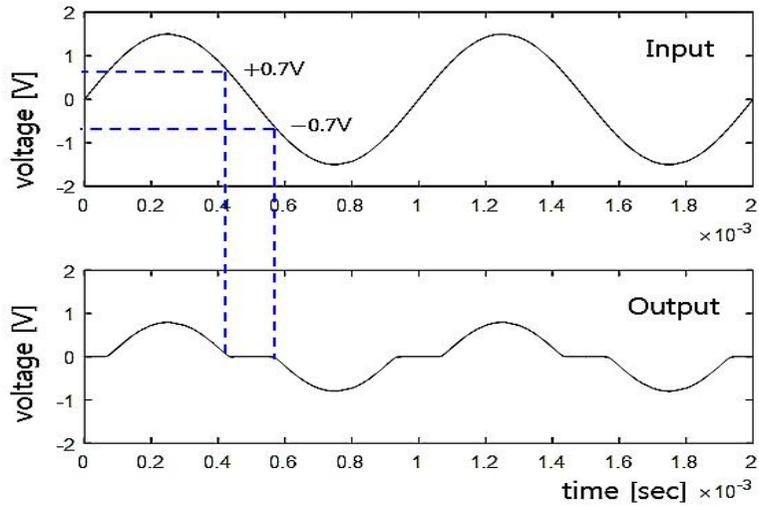


Fig. 19 Crossover distortion of push-pull amplifier

Fig. 19와 같은 크로스오버 왜곡(Crossover distortion) 현상을 없애고 자 BJT\_Base 단자에 하나의 파형을 이용하여 출력하는 방식이 아닌 PNP에는 아래쪽 파형만 NPN에는 위쪽 파형을 주입하도록 회로를 구성하여 Offset을 이용하여 크로스오버 왜곡 현상이 없는 출력을 만들었다. 회로 설명은 다음과 같다.

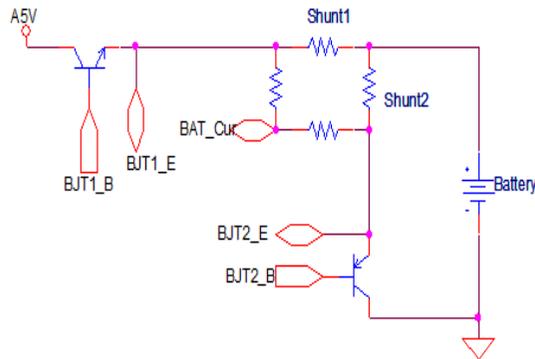


Fig. 20 Current measure circuit of battery charge/cischarge

Fig. 20은 AC교류전압 신호를 배터리에 주입하고 전류와 전압을 측정하는 회로도이다. Battery 부분에는 측정하고자 하는 배터리를 연결한다. 이 때 하나의 파형으로 BJT에 주입하는 경우 BJT1\_B에는 윗부분의 파형을 도통하게 되고 BJT2\_B에는 아래 부분의 파형을 도통하게 되어 BJT 도통에 의한 단자 감소 전압에 의해서 0.7V 정도 Offset이 발생하여 크로스오버 왜곡 현상이 일어난다. Shunt 저항을 이용해서 배터리의 전류를 측정하고 BAT\_Cur로 전류의 값을 보낸다.

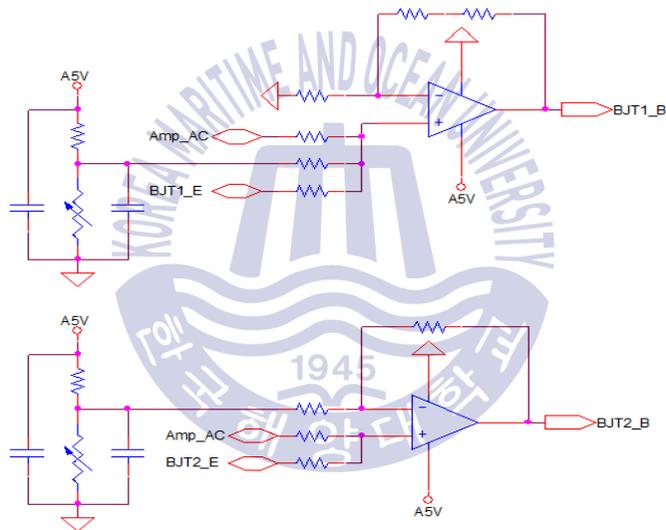


Fig. 21 Offset circuit of AC input pulse

Fig. 21은 크로스 왜곡현상의 발생을 최소화하고자 BJT에 주입하는 파형을 Offset하는 회로도이다. Amp\_AC 단자에는 주입하고자 하는 AC 교류전압신호가 입력되고, BJT\_E단자를 통해 배터리의 전압에 의한 DC 값이 들어오게 된다. AC교류신호를 BJT 도통에 의해 감소되는 전압 0.7V를 가변 저항을 통한 DC값으로 Offset을 조정하여 BJT 입력 AC 교류 전압 파형이 되게 해주는 회로도이다.

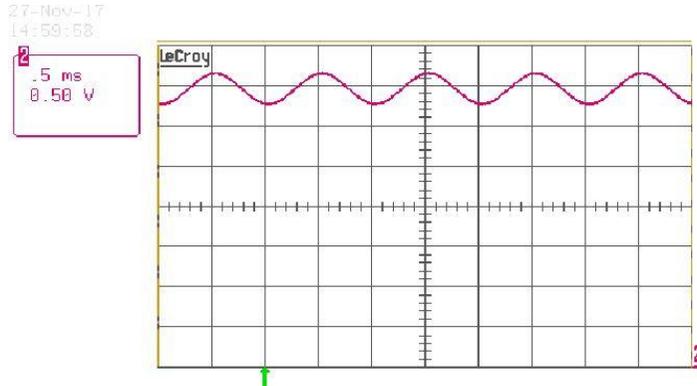


Fig. 22 Waveform of injected AC voltage

Fig. 22는 EIS 모듈의 결과 파형이다. 크로스오버 왜곡 현상이 최소화된 파형이 출력된다.

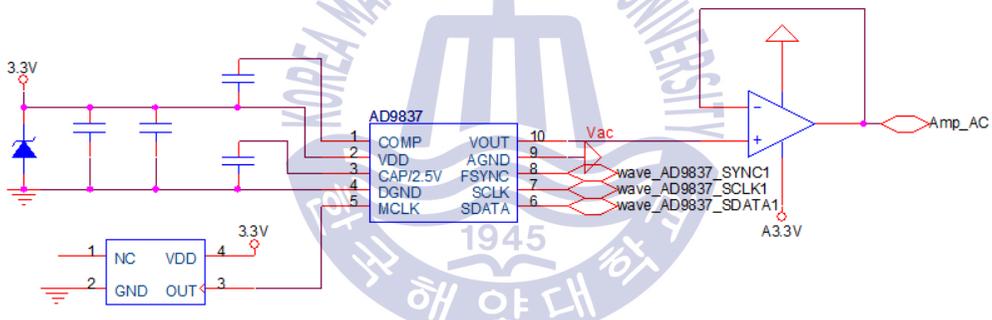


Fig. 23 Circuit of pulse frequency generator

Fig. 23은 충·방전 펄스 주파수 발생기이다. 주파수 파형 발생기에 사용하는 소자는 AD9837이 사용된다. AD9837은 사용자가 설정한 주파수에 해당하는 AC 전압을 SPI 통신을 통해 Vout 핀에 Vac가 출력되게 설정한다. 16MHz의 오실레이터를 사용하여 출력 주파수는 60mHz ~ 16MHz가 될 수 있다. 2MHz가 사용될 때 출력 전압의 주파수는 7.5mHz ~ 2MHz가 될 수 있다. VOUT으로 나오는 값을 OP-Amp를 통해서 필터링하고 Amp\_AC로 값을 전송한다.



Fig. 24 EIS module

Fig. 24는 제작한 EIS 모듈이다. ①은 MCU이며 SPI 통신 및 연산을 담당하는 곳이며, ②는 PC로 데이터를 전송하는 RS-232 포트이다. ③은 Circuit of voltage amp 회로이다. ④는 Offset을 조정하는 Offset circuit of AC input pulse 회로이다. ⑤는 Circuit of battery line charge/discharge current measure 회로이다.

### 3.1.3 PCH 하드웨어



Fig. 25 Device of pulse charger

Fig. 25는 펄스 충전 실험하기 위한 펄스 충전기이다. ①은 배터리의 특성을 파악할 수 있는 모듈이며, ②는 현재 배터리의 상태를 표시할 수 있는 LCD이며 배터리의 전압, 전류, 온도, SOC 값을 표시한다. ③은 충전과 방전을 하는 S.S.R이다. ④는 배터리 애로사항이 발생하거나 시스템에 문제가 생기거나 실험이 종료되면 울리는 부저이다.

## 3.2 소프트웨어

### 3.2.1 BMS 소프트웨어

BMS 모니터링 소프트웨어는 National Instrument 사의 Labview 프로그램으로 구성하였다. PC에 표시되는 값은 실험하고 있는 배터리의 SOC 및 단자전압을 표시하고, 온도, SOC(%) 등을 표로 값을 계속 읽어서 순차적으로 도표 및 그래프로 값이 저장되어 2차원적으로 지도화할 수 있게 하였다. 모니터링 소프트웨어는 시간과 배터리의 파라미터 값을 계속 읽어올 수가 있어서 분석용 데이터를 상당히 안전성과 신뢰성을 높이는 역할을 담당하였다.

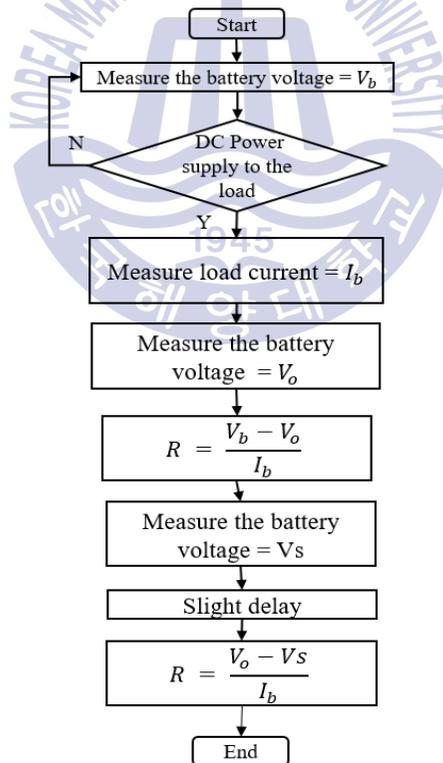


Fig. 26 Algorithm of BMS before operation

실험이 시작되면 배터리의 전압을 체크한다. 배터리의 상태에 따라서 충·방전을 수행한다. 그리고 이에 대해서 전류 값을 측정하고 동시에 온도와 전압을 측정한다.  $R = \frac{V_b - V_o}{I_b}$  를 이용하여 초기 전압  $V_o$  와 충·방전 중 배터리 전압  $V_b$  과 전류값  $I_b$  를 이용하여 R값을 구한다. 그리고 약간의 지연 시간 후에 다시 재측정해서  $V_o$  에서  $V_s$  로 변수를 바꾸어 계산하고  $R = \frac{V_o - V_s}{I_b}$  값을 PC로 보내면서 감시한다. 이상이 있을 때, 자동으로 STOP되어 실험이 중단된다.



### 3.2.2 EIS 소프트웨어

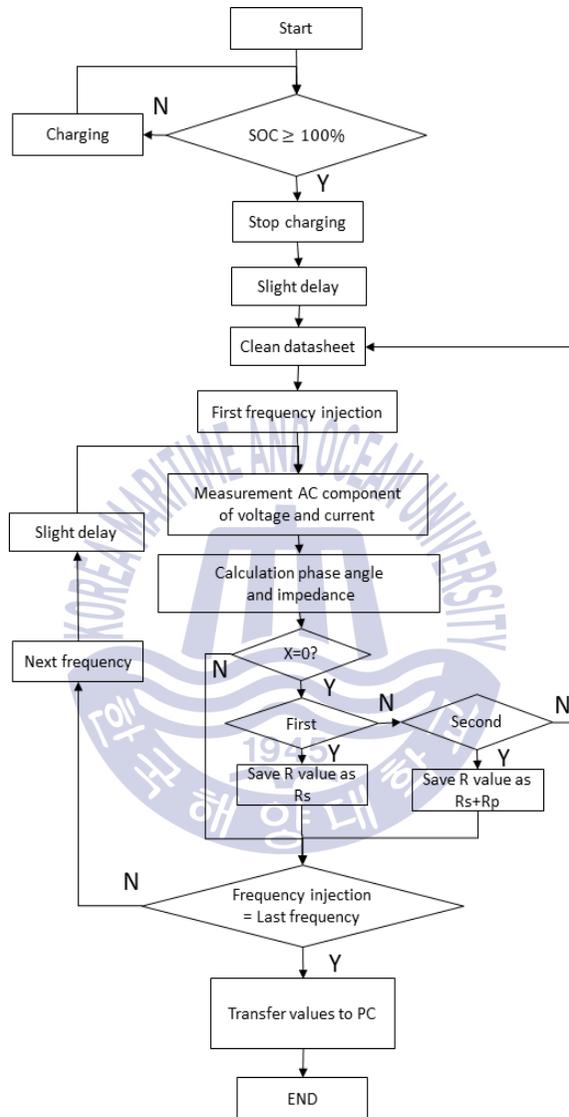


Fig. 27 Algorithm of impedance measurement

Fig. 27은 MCU에서 실행 중인 배터리의 임피던스를 측정하는 알고리즘이다. 먼저 배터리로부터 SOC가 100% 이상이 되는지를 체크한다. 거짓일 경우 계속 충전을 유지하고 참일 경우 충전을 그만두고 MCU에서 배터리에 흐르는 전류의 주파수를 설정해서 주입한다. 주파수가 주입하게 되면 약간의 지연 후에 전압과 전류가 측정된다. 이때 배터리의 전압에 맞게 Offset이 조정이 되어야한다.

측정하고자 하는 배터리의 전압이 3.7 ~ 4.2V로 사이의 Offset 값으로 올라가서 측정되기 때문에 배터리의 DC 전압을 제거해야 한다. 그래서 피드백 회로를 통해서 배터리의 DC 전압을 0V 전위까지 떨어트려서 값을 검출한다. 이렇게 하지 않으면 어느 정도의 전압이 Offset이 되어 측정되기 때문에 위상차가 달라져서 R, X값이 달리 측정될 수 있다.

처음으로 나오는 X값이 '0' 인 경우가 참일 때에는  $R_s$ 로 정의하고, 두 번째로 나오는 X값은  $R_s + R_p$ 로 정의한다. 세 번째 이상 측정이 되면 이는 잘못된 경우로서 재측정을 하도록 하고, X값이 '0' 이 아닌 경우에는 다음 주파수로 넘어가서 측정되게 한다. 그리고 마지막 주파수일 경우에는 실험을 중단한다.

사용자가 지정한 주파수 대역대로 순차적으로 측정을 한 후 RS-232 통신 방식을 이용하여 PC로 값을 전송하여 임피던스 그래프로 표현을 하여 배터리의 수명과 상태를 분석할 수 있게 한다.

### 3.2.3 PCH 소프트웨어

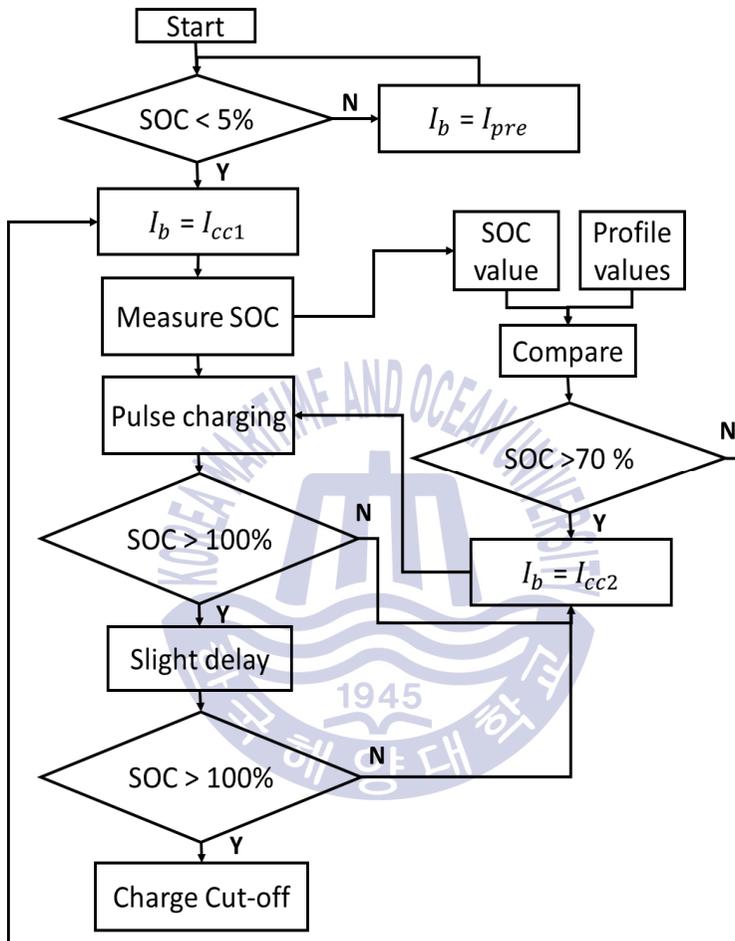


Fig. 28 Algorithm of PCH

앞서 Fig. 28에서도 사용한 펄스 충전에 대한 알고리즘은 다음과 같다. 배터리의 SOC를 읽어오고 5% 미만일 경우에는  $I_b$ 는  $I_{pre}$ 로 충전을 한다. SOC가 5% 이하일 경우는 배터리의 기초 충전을 해서 일정량의 에너지를 채워야 충전이 되기 때문에 기초적으로  $I_{pre}$ 로 충전을 하는데, 이때의  $I_{pre}$ 는 0.1C 수준으로 충전을 시작한다. SOC가 5%가 넘을 때에는  $I_b$ 는  $I_{cc1}$ 로 충전을 하며  $I_{cc1}$ 은 CC 충전일 때의 전류이다.

그리고 SOC를 측정해서 배터리의 SOC 값과 미리 설정해놓은 SOC 값을 비교해서 SOC가 70%가 아닌 경우에는 다시 CC 충전 위해서  $I_b$ 는  $I_{cc1}$ 로 계속 충전을 계속하고 난 뒤 다시 SOC를 재측정하는 작업을 반복한다. SOC가 70% 이상일 경우에  $I_b$ 는  $I_{cc2}$ 가 되어서 펄스 충전이 시작된다. SOC 값이 100%가 되면 전하가 안정화되는 약간의 딜레이 시간을 갖고 난 뒤 재측정을 한다. 그리고 SOC가 100%가 될 때까지 펄스 충전을 진행한다.

### 3.2.4 충·방전 및 EIS 적용 소프트웨어

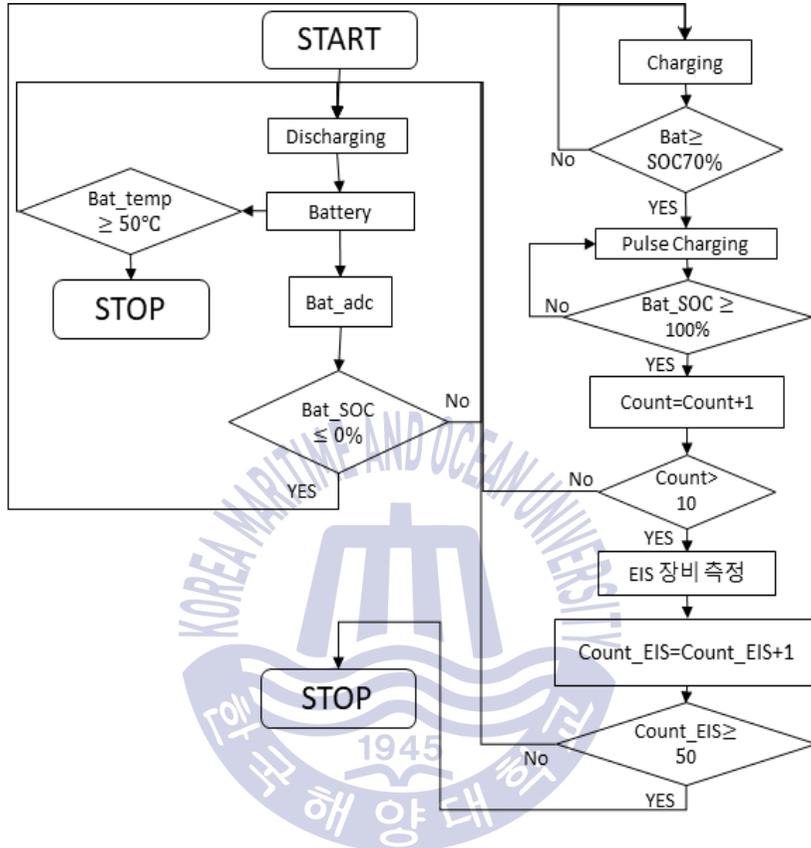


Fig. 29 Test flow chart

Fig. 29는 실험 제어를 위한 순서도이다. 실험 제어는 충·방전 테스트가 제대로 이루어질 수 있도록 제어하였으며 충전, 방전, 정지, 센싱 등을 제어할 수 있게 순서도를 제작하였다. 본 실험에서는 수명비교 위해 500회 이상의 충·방전 실험을 위해 Fig. 29와 같이 구성 하였으며 실험이 시작되면 배터리의 전압을 측정하고 3.0V 이상 시에만 다음 단계로 넘어가며 배터리 방전이 우선적으로 실시하게 하였다.

그리고 Bat\_SOC 값 센싱하여  $Bat\_SOC \leq 0\%$ 일시 배터리의 충전을 실시하며  $Bat\_SOC \geq 70\%$ 일시 Pulse 충전을 실시하였으며  $Bat\_SOC \geq 100\%$ 가 되면 완충이 되었기에 카운터를 +1개를 추가시킨다. 50회 반복 후에는 EIS 장비로 파라미터를 측정하고 앞선 작업을 반복하여 10회 이상 측정하면 실험종료하게 된다. EIS 10회 측정한 그래프와 표를 토대로 결과를 분석하였다.



## 제 4 장 실험 및 고찰

Fig. 30은 실험을 위한 전체 블록도이며, Fig. 31은 실험 장치이다. 전자로드(Electronic load)를 이용하여 일정한 전류로 방전을 하였고, DC power supply를 이용하여 충전을 하였으며, 실험 및 측정을 위해서 충·방전 카운터, EIS 측정 자치를 제어하였다. 그리고 충전 그래프를 확인하기 위해서 오실로스코프(Oscilloscope)를 사용하였으며, 배터리로부터 측정되는 전압, 전류, SOC, R, X 등의 값을 PC로 전송하여 그래프로 측정을 하였다.

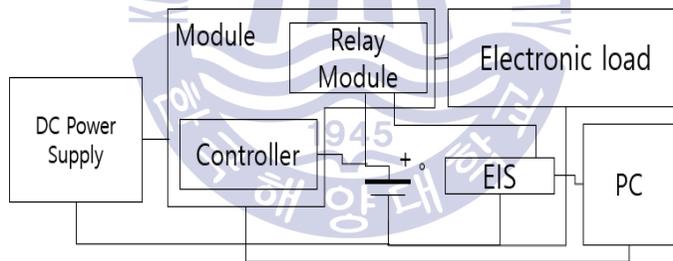


Fig. 30 Block diagram of experimental test

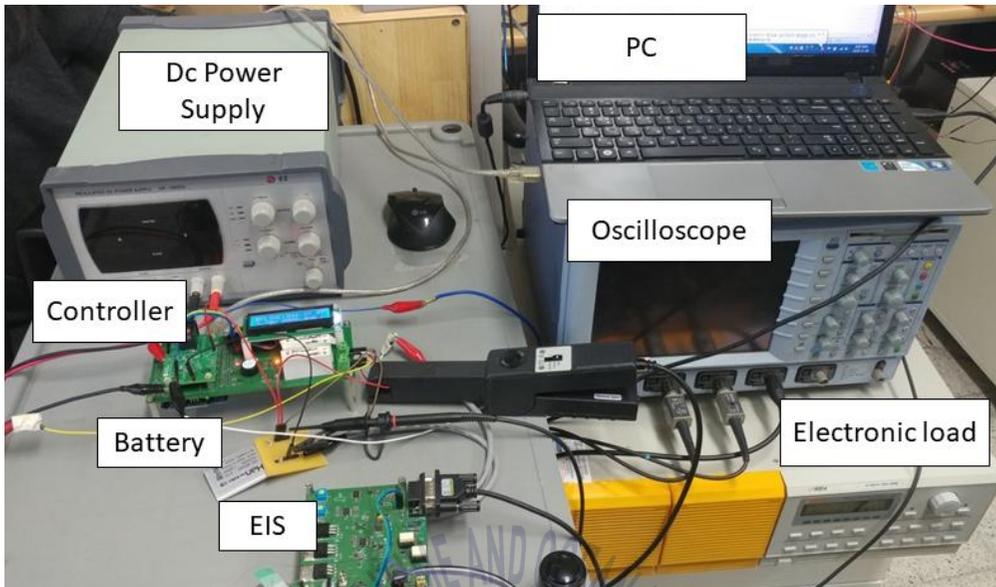


Fig. 31 Total experimental device

Fig. 32는 실험에 사용된 리튬 폴리머 배터리 외형을 나타내며, 그 스펙은 Table 2와 같다. 정격 전압 3.7V, 정격 전류 0.5A를 충전 가능 전압은 4.2V, 방전 허용 전압은 3.0V 그리고 최대 충전 전류는 10C, 최대 방전 전류는 10C인 TW383450 리튬 폴리머 배터리이다.



Fig. 32 : Lithium polymer battery

**Table 1** : Specifications of battery

Rated voltage	3.7V
Rated capacity	500mAh
Cut-off charge voltage	4.2V
Cut-off discharge voltage	3.0V
Max. Charge current	10C
Max. Discharge current	10C

펄스 충전(Pulse charging, PCH) 실험을 위하여 On/Off 펄스 시간의 제어조건은 Table 3과 같다. Case는 펄스 충전의 On\_time/Off\_time이며, Case1은 1000ms/50ms, Case2는 1000ms/100ms, Case3는 1000ms/200ms으로 정하였으며, 전류조건은 충전 시에는 500mA로 하였으며 SOC 100%까지 충전이 되도록 하고, 방전은 충전 시와 같이 500mA로 SOC 0%까지 진행한다.

**Table 2** : Condition of charging / discharging control

Condition		Case1	Case2	Case3
Charge	전류형태	Pulse	Pulse	Pulse
	Time (On/Off)	1000ms / 20ms	1000ms / 100ms	1000ms / 200ms
	Current (On/Off)	500mA / 0mA	500mA / 0mA	500mA / 0mA
	Cut-off	SOC 100% cut-off		
Discharge	Control	500mA		
	Cut-off	SOC 0% cut-off		

#### 4.1 충·방전 시간 비교 실험

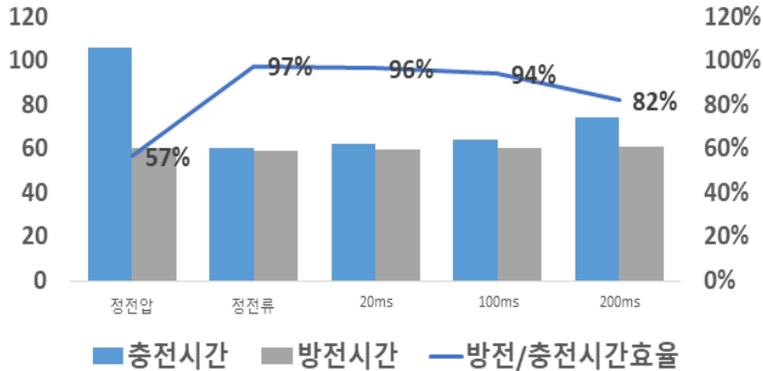


Fig. 33 Test of charging/discharging time

Table 3 : Result values of Fig. 33 test

충전방식	CC/CV	CC	Pulse		
			Case1	Case2	Case3
펄스 충전의 Off_time	-	0	20ms	100ms	200ms
중지전압(V)	4.3	4.61	4.58	4.53	4.45
방전시간(min)	60.1	58.9	59.8	60.2	60.7
충전시간(min)	106	60.5	62	64	74
방전/충전시간 효율(%)	57	97	96	94	82

충전 방식에 따른 방전/충전시간 효율 값을 분석하기 위해서 Fig. 33 과 같이 CC/CV(정전압), CC(정전류), Case 1, 2, 3 (Pulse)의 5가지 방식으로 실험을 실시하였다. Fig. 33은 충전시간이 빠른 순서대로 CC(60.5분), Pulse 20ms(62분), Pulse 100ms(64분), Pulse 200ms(74분), CC/CV(106분)로 측정이 되었다. 이를 통해 CC, PCH는 기존 CC/CV 충전보다 고속 충전이 가능함을 확인하였다. DTCT의 높은 효율의 순서는 CC(97%), Pulse 20ms(96%), Pulse 100ms(94%), Pulse 200ms(82%), CC/CV(57%)로 측정이 되었다. CC, Pulse 20ms일 때 가장 DTCT가 가장 높게 측정되었다.

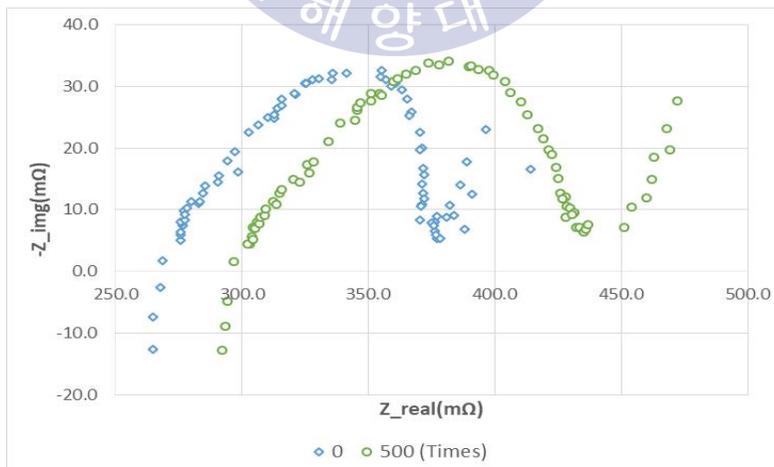
## 4.2 EIS 적용 실험

### 4.2.1 CC 충전 수명 실험

충·방전 제어조건은 Table 5와 같다. Fig. 34는 좌측 점은 새 배터리고, 우측 점은 500회 급속 충·방전된 배터리이다. 지속적으로 충·방전된 배터리는 기존 새 배터리에 비해서  $R_s$ ,  $R_p$ 값이 크게 측정 이 된다.[17] 이를 통해 충·방전 횟수가 진행될수록  $R_s$ 값을 통해 SOH를 이용하기 위한 시스템에 적용이 가능하다는 것을 의미할 수가 있다.

**Table 4** : Control condition of charging / discharging

	Condition	
Charge	Control	CC 500mA
	Cut-off	SOC 100%
Discharge	Control	CC 500mA
	Cut-off	SOC 0%



**Fig. 34** Impedance graph according to 500 cycles

Fig. 35는 리튬배터리의 충전 상태(SOC)에 따른 주파수를 변화시키면서 측정된 임피던스의 그래프이다. SOC 100%일 때보다 SOC 20%일 때  $R_p$ 값이 더 크게 측정되었으며, 이러한 결과는 SOC 값의 감소에 따라서  $R_p$ 의 값이 점점 더 커지며,  $R_p$ 의 값이 증가 될수록 충전 용량이 작아짐을 알 수 있다.

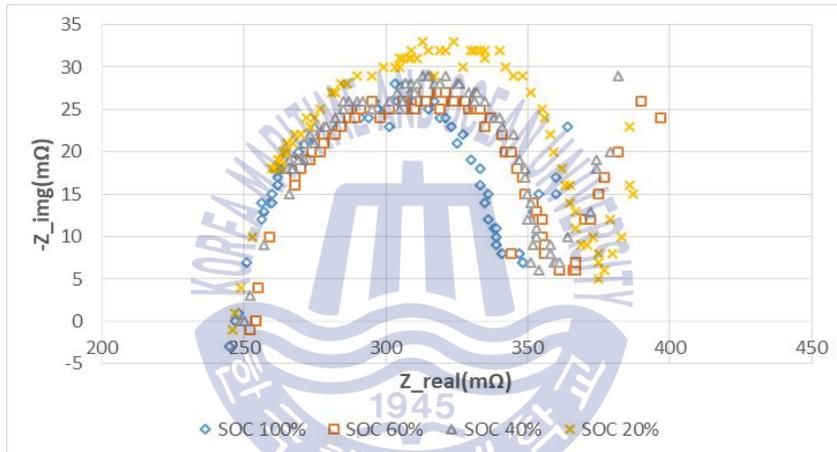


Fig. 35 Impedance graph according to SOC

## 4.2.2 PCH 실험

실험은 CC/CV 충전, PCH로 나뉘서 진행하였으며, Fig. 36은 CC 충전시의 전압과 전류에 대한 파형을 찍은 결과이다. 상단 파형은 전압, 하단 파형은 전류를 측정한 것이며, 일정하게 정전류 충전을 진행하게 되고, 지속적으로 전압은 증가하는 CC 방식으로 충전되는 배터리를 측정한 파형이다.

Fig. 37은 펄스 충전 시의 전압과 전류 파형을 찍은 결과이다. 펄스 충전방식에서의 전류는 0에서 설정한 전류값까지 계속 반복하기 때문에 다음과 같이 전류가 펄스 형태로 나타나며 전압 또한 전류 파형과 비슷한 펄스 폭 형태의 모형을 띄고 있다. 이때 전류는 앞서 CC 충전과 같이 전압값이 일정하게 증가하고 있는 모형을 띄고 있다.

Fig. 38은 PCH 방식에서 3가지 충전비(On\_time/Off\_time)를 적용한 실험 파형이다. 위에서부터 순서대로 1000ms/50ms, 1000ms/100ms, 1000ms/200ms의 파형을 찍은 결과이다.

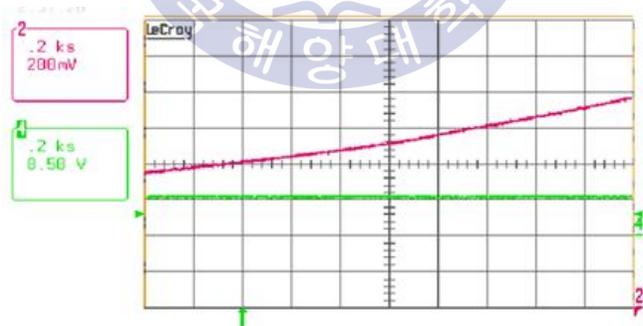
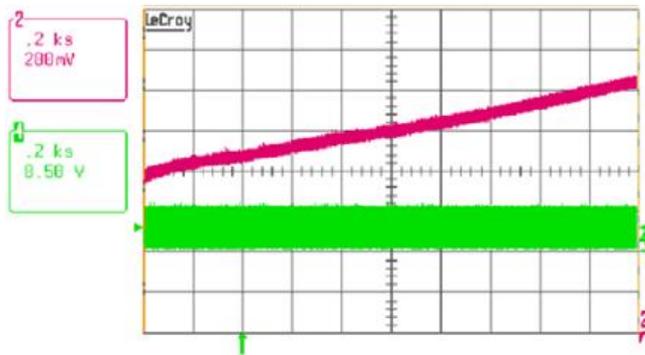
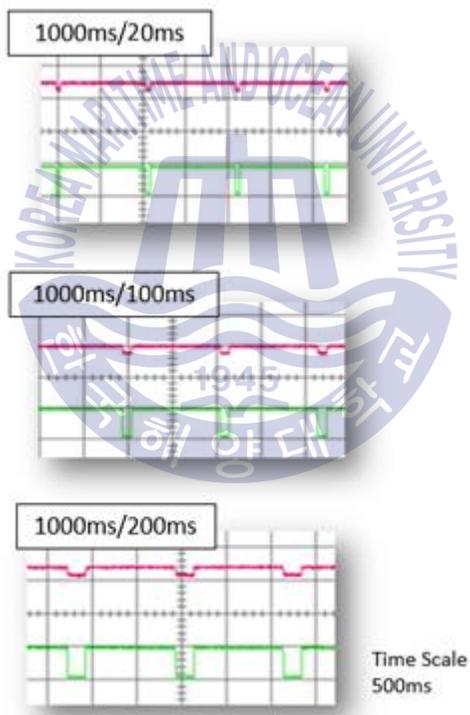


Fig. 36 Waveform of voltage and current using CC



**Fig. 37** waveform of voltage and current using PCH method



**Fig. 38** Waveform of voltage and current of 3 types of charging ratio tested in PCH method

### 4.2.3 CC/CV, PCH 방식을 적용한 배터리 충전량 분석 실험

Fig. 39는 CC/CV, PCH 방식을 이용하여 충전한 새 배터리를 EIS를 이용하여 내부 파라미터( $R_p$ )를 측정한 결과이다.  $R_p$ 값이 큰 순서대로 Pulse 20ms( $125m\Omega$ ), Pulse 100ms( $107m\Omega$ ), CC/CV( $101m\Omega$ ), Pulse 200ms( $74m\Omega$ )으로 측정이 되었다.  $R_p$  값이 클수록 충전량이 작기 때문에 충전량이 가장 좋은 특성을 가진 방식은 Pulse(200ms)일 때로 분석이 되었다.[17]

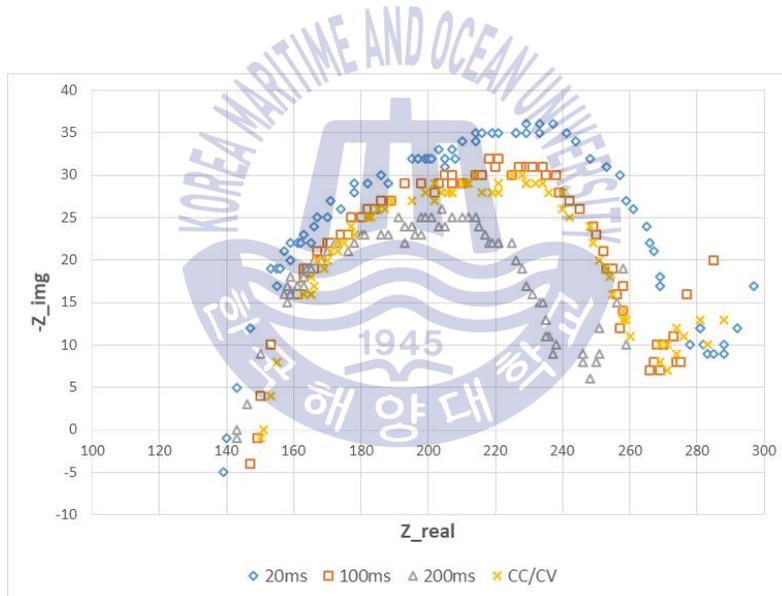


Fig. 39 Impedance graph of new battery

Table 5 :  $R_p$  values of new battery

충전방식	CC/CV	Pulse	Pulse	Pulse
펄스 충전의 Off_time	-	20ms	100ms	200ms
$R_p(m\Omega)$	101	125	107	74

Fig. 40은 Fig.39에서 수행한 CC/CV, PCH 방식을 이용하여 300회 충·방전하였을 때 내부 파라미터를 측정된 결과이다. Fig. 39와 Table 6에서의 결과보다 Rp 변화 값이 큰 순서대로 Pulse 200ms(29mΩ), CC/CV(19mΩ), Pulse 20ms(17mΩ), Pulse 100ms(14mΩ)으로 측정이 되었다. Rp변화 값이 클수록 배터리 충전량에 좋지 않은 영향을 주므로 충·방전 횟수에 따른 가장 좋은 특성의 충전 방식은 Pulse 100ms로 분석이 되며, 충·방전 횟수가 증가할수록 변화값은 커질 것으로 분석된다.

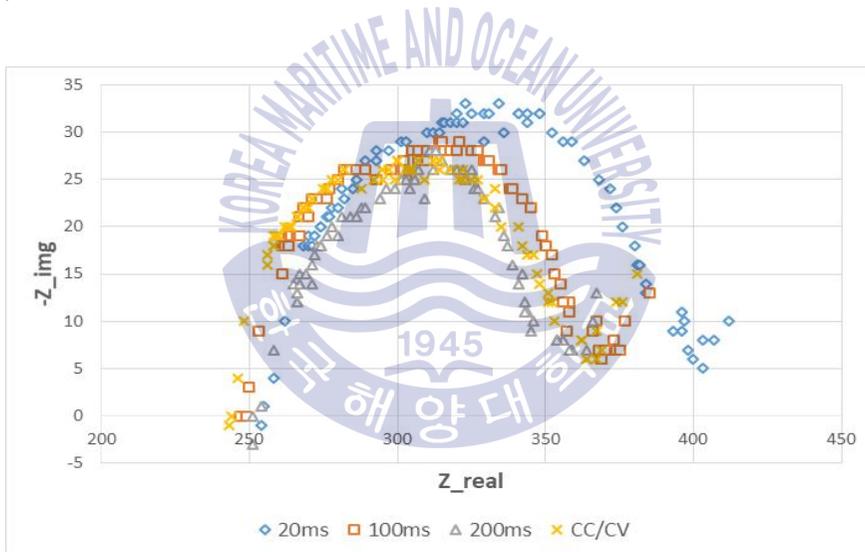


Fig. 40 Impedance graph of battery after 300 times charging/discharging

Table 6 : Result values of Fig. 40 test

충전방식	CC/CV	Pulse	Pulse	Pulse
펄스 충전의 Off_time	-	20ms	100ms	200ms
300 Cycle Rp(mΩ)	120	142	121	103

#### 4.2.4 CC, PCH 방식을 이용한 배터리 수명 비교 실험

Fig. 40은 급속충전 방식인 CC, PCH를 이용하여 충전한 배터리를 EIS 장비를 이용하여 Rs값을 분석하였다. Rs변화값이 큰 순서대로 CC(139m $\Omega$ ), Pulse 20ms(135m $\Omega$ ), Pulse 200ms(133m $\Omega$ ), Pulse 100ms(127m $\Omega$ )으로 측정이 되었다. Rs변화값이 클수록 SOH %가 0에 가까워지므로 수명특성에 가장 좋은 특성의 충전 방식은 Pulse 100ms으로 분석이 되었다.

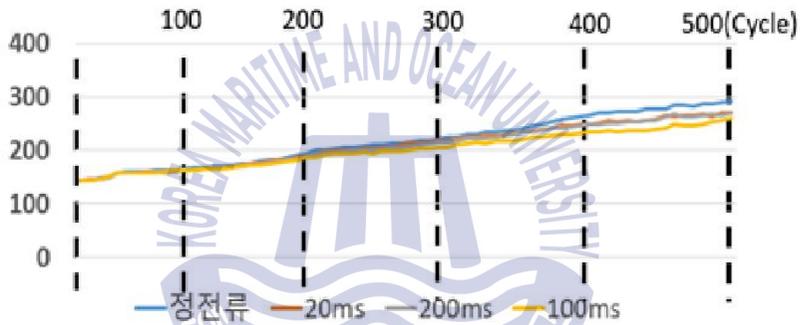


Fig. 41 Rs values using EIS method

Table 7 : Result values of Fig. 41 test

충전방식	CC	Pulse	Pulse	Pulse
펄스 충전의 Off_Time	0	20ms	100ms	200ms
Rs 초기값(m $\Omega$ )	143	145	146	144
500Cycle 후 Rs값(m $\Omega$ )	282	280	273	277
Rs 증가량(m $\Omega$ )	139	135	127	133

## 제 5 장 결론

본 논문에서는 PWM 충전방식을 적용하여 충전시간 대비 방전시간(DTCT)을 비교하여 급속 충전 가능성 실험을 진행하였고, EIS 방법을 활용하여 내부 파라미터와 배터리의 수명을 분석하였다. 본 연구를 위하여 펄스 충전기 및 EIS 모듈을 제작하고, 여기에 3가지 종류의 펄스 충전을 수행하였다. 펄스 충전방식을 적용한 배터리의 수명에 대한 영향을 검증하기 위하여, 정전류/정전압(CC/CV), 정전류(CC), 펄스(PCH, Pulse Off\_time 20ms, 100ms, 200ms) 충전방식을 비교하였다. EIS 모듈로 배터리의 내부 임피던스를 측정하고 내부 파라미터와 배터리의 수명 변화값을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 기존의 EIS 장비에서 발생하였던 교류전압신호 왜곡 현상을 없애기 위하여 제안한 Offset 회로를 적용하여 실험한 결과 양호한 정현파 교류전압 신호를 얻을 수 있었으며, 이 교류 신호를 배터리에 주입하여 임피던스 측정에 사용하였다.

2) CC/CV, CC, PCH 방식으로 실험하여 충전시간을 분석한 결과, CC(60.5분), Pulse 20ms(62분), Pulse 100ms(64분), Pulse 200ms(74분), CC/CV(106분)이 나왔으며 이를 통해 CC, Pulse 충전 방식은 고속 충전 방법으로 적합하다는 것을 알 수가 있다.

3) CC, PCH 방식을 이용하여 충전한 새 배터리를 EIS를 이용하여 내부 파라미터인  $R_p$ 를 측정한 결과,  $R_p$  값의 변화량이 PCH 방식 중에서 Off\_time이 200ms일 때 가장 작은  $74m\Omega$ 로 나타남을 확인하였다. 또한, CC, PCH 방식을 이용하여 300회 충·방전한 후에  $R_p$  값의 변화량을 측정한 결과 PCH 방식 중에서 Off\_time이 100ms일 때 가장 작은  $14m\Omega$ 로 나타나고 있음을 확인 하였다. 충·방전 횟수가 증가할수록 변화값은 커질 것으로 분석된다.

4) CC, PCH 방식으로 충·방전 횟수에 따른 수명 비교 실험을 분석한 결과, PCH 방식중에서 Off\_time이 100ms일 때 가장 작은  $127m\Omega$ 의 변화량을 보여 주었으며, 이 방식이 수명 감소에 영향을 적게 주는 것으로 분석되었고, 충·방전 횟수가 증가할수록 차이가 클 것으로 분석된다.

5) 위와 같은 결과를 통하여, PCH 방식은 고속 충전이 가능함을 확인하였고, 배터리를 사용함에 따라 충전량과 수명 감소에 영향을 적게 주는 PCH 방식 중에서 Off\_time시간이 100ms임을 확인할 수 있었다.

추후 펄스 충전 방식을 다른 유형과 좀 더 세분화된 펄스 주기를 배터리에 대해서도 실험을 하여 임피던스 특성을 분석할 예정이다.

## 참고문헌

- [1] IBK 투자증권, 2018, 2차전지(Overweight) 새로운 바람, Korea: IBK
- [2] 조만, 이창환, 2012. 배터리 전기 자동차의 기술동향 및 특허 출원 동향, 에너지공학학회, 21(2), pp.86-108
- [3] 이현석, 오진석, 2016. 소형 연료전지 선박을 위한 GUI 기반의 통합 모니터링 시스템, 한국정보통신학회논문지, 20(12), pp.2235-2242
- [4] 한국전자통신연구원(ETRI), 2010, Research Trend of High-Efficiency Charging Method for Lithium Rechargeable Batteries, 전자통신동향분석 25(5), 한국전자통신연구원(ETRI)
- [5] 류재웅, 2013, 리니어 80V 벡부스트 배터리 충전 컨트롤러 출시 [Online](Updated 2013. 12. 03 ) Available at: [https://kr.acrofan.com/detail\\_legacy.php?param1=ko-kr&param2=commerce&param3=news&param4=20131203&param5=00000015](https://kr.acrofan.com/detail_legacy.php?param1=ko-kr&param2=commerce&param3=news&param4=20131203&param5=00000015) [Accessed 2018.12.05.].
- [6] 한국전자산업진흥회, 기술동향-리튬폴리머전지, 전자정보센터(EIC)
- [7] 배찬중, 2018, 배터리 SOH를 고려한 적응형 펄스 CC-CV 충전 방법 연구, 석사학위논문. 서울대학교.
- [8] 박재범, 김선영, 신건, 노대석, 2011. 연축전지의 충방전특성 평가에 관한 연구, 대한전기학회, 추계학술대회 논문집, pp.229-231
- [9] A. Abdollahi, X. Han, N. Raghunathan, B. Pattipati, B. Balasingam, K.R. Pattipati, 2017, Optimal charging for general equivalent electrical battery model, and battery life management, Journal of Energy

Storage, Journal of Energy Storage, 9 ,pp.47-58

[10] Huazhen Fanga, Christopher Depcika, Vadim Lvovichb, 2018, Optimal pulse-modulated Lithium-ion battery charging: Algorithms and simulation, Journal of Energy Storage 15, pp.359-367

[11] 김조섭, 홍도형, 김재언, 2011. 연축전지의 충전 방법에 따른 수명 특성 연구, 대한전기학회, 하계학술대회 논문집, pp.20-22

[12] H. S. Ma, 2017, Battery management system with high-reliability for power conversion system, Ph.D. Korea Maritime and Ocean University.

[13] 한국과학기술연구원, 2016, 차세대 이차전지, 한국과학기술연구원

[14] 최정덕, 하일곤, 2017, 개발경쟁 가속되는 차세대 2차전지, LG 경제연구원

[15] H. J. Kwon, A study of remote management system of lithium ion battery for ship based on BLE, 2015, Ph.D. Korea Maritime and Ocean University.

[16] T. H. Song, H. S. Yang, Y. S. Kim, S. G. Lee, (in press). A study on the characteristics of battery for electrical propulsion vessel according to charging current and harmonic discharging load, Journal of the Korean Society of Marine Engineering

[17] J. L. Choi, Study on electrochemical impedance spectroscopy equipment for checking state of battery, 2018, Ph.D. Korea Maritime and Ocean University.

[18] 이덕우, 이성재, 최성남, 2017, Design and Implementation of Emergency Battery for Flyaway Satellite Terminal Systems, 한국정보기술학회, 15(9), pp.29-35

[19] T. H. Song, H. S. Yang, Y. S. Kim, S. G. Lee, 2018, Investigation of the lifespan characteristics of a rapid charge/discharge battery using the inverter level discharge method, Journal of the Korean Society of Marine Engineering 42(7), pp.615-619

[20] G. H. Lee, 2010, Development of the SOC Estimation Method of the Battery and the Battery Inspection System using Electrochemical Impedance Spectroscopy, Ph.D. Korea: Soongsil University.

[21] 유범진, 이도권, 2010, 임피던스 분광법을 이용한 염료감응 태양전지의 분석, 고분자과학과 기술, 21(6), pp.557-562



## 감사의 글

석사학위 과정을 무사히 졸업 할 수 있도록 많은 도움을 주신 분들께 진심으로 감사드리며, 글로써 감사의 마음을 전하고자 합니다.

2012년 전기전자공학부에 입학하고, 학사 졸업 후 대학원 생활을 거쳐 현재에 이르기까지 항상 조언을 아끼지 않으시고 알려주시는 지도 교수 이성근 교수님, 본 논문의 심사위원장을 맡아주시고 항상 많은 정보와 지식을 전해주시는 김윤식 교수님과 논문의 심사를 해주시고 몰랐던 것이나 잘못된 것을 알려주시던 길경석 교수님께 감사의 말씀을 드리고 싶습니다.

항상 저의 연구에 많은 도움을 주셨던 양현숙, 권혁주, 구봉규, 최정렬, 김민권 선배님들께 진심으로 감사의 말씀을 전합니다. 그리고 항상 연구를 보좌해주던 실험실 일원인 정동인, 신동민, 한진우 후배님들과 항상 응원해주던 서홍일, 강태호, 김경민, 김경률, 최유진, 배주원, 김무현 학우분들께 고맙다고 전하고 싶습니다. 항상 힘들 때마다 응원해주신 강민우, 권수현, 정수민, 김태현, 조형우, 정지원, 박상환, 배상준, 윤준영, 김상우, 이영기, 홍순창 동창들에게도 고맙다고 전하고 싶습니다.

그리고 마지막으로 저를 항상 믿어주시고 적극적으로 지원해 주신 부모님과 항상 응원해주고 도와준 누나에게 사랑한다고 전합니다.