

<https://doi.org/10.7236/JIIBC.2023.23.4.171>  
JIIBC 2023-4-26

# 시나리오별 충방전에 따른 리튬이온(Li-ion) 배터리 특성

## Characteristics of Lithium-ion(Li-ion) Batteries according to Charging and Discharging by Scenario

윤용호\*

Yongho Yoon\*

**요약** 21세기 현대사회에 있어서 이차전지 배터리(Battery)를 이용한 휴대용 전자제품은 계속해서 경량, 소형화되어가는 추세 속에서 있다. 그리고 이러한 추세와 더불어 우리는 몸에 착용할 수 있는 전자 장비를 이용하여 하루 일상생활에서 정보를 수집, 공유하는 4차 산업혁명 시대에 활동하고 있다. 따라서 소형 가전제품 및 디지털 기기를 사용하면서 재충전할 수 있는 이차전지 배터리의 역할은 점점 더 중요하게 증가하고 있다. 이러한 증가와 더불어 이차전지 배터리 성능시험은 특성, 수명, 고장진단, 재활용 등의 다양한 시험방법을 요구하고 있으며 있다. 또한 배터리의 안전과 적절한 기능을 보장하기 위한 배터리 테스트 시스템 구축과 이에 따른 지침 및 올바른 기본지식이 고려되고 있다. 따라서 본 논문에서는 배터리의 성능과 직접으로 연결된 시나리오별 충방전에 따른 이차전지 리튬이온(Li-ion) 배터리의 특성에 대해 살펴보고자 한다.

**Abstract** In the modern society of the 21st century, portable electronic products using secondary batteries are continuously becoming lightweight and miniaturized. And along with this trend, we are active in the era of the Fourth Industrial Revolution, where we collect and share information in our daily lives using wearable electronic devices. Therefore, the role of secondary batteries that can be recharged while using small home appliances and digital devices is increasingly important. Along with this increase, secondary battery performance tests require various test methods such as characteristics, lifespan, failure diagnosis, and recycling. In addition, the construction of a battery test system to ensure the safety and proper functioning of the battery, along with guidelines and correct basic knowledge are being considered. Therefore, in this paper, we will examine the characteristics of the secondary battery Li-ion battery according to the charging and discharging scenarios directly connected to the performance of the battery.

**Key Words** : Lithium-Ion(Li-ion) Battery, Charging and Discharging by Scenario, Battery Management System

\*정회원, 광주대학교 전기공학과  
접수일자 2023년 6월 4일, 수정완료 2023년 7월 4일  
게재확정일자 2023년 8월 4일

Received: 4 June, 2023 / Revised: 4 July, 2023 /  
Accepted: 4 August, 2023

\*Corresponding Author: yhyoon@gwangju.ac.kr  
Department of Electrical Engineering, Gwangju University,  
Gwangju, Korea

## I. 서 론

21세기 현대사회에 있어서 이차전지 배터리(Battery)를 이용한 휴대용 전자제품은 계속해서 경량, 소형화되어 가는 추세 속에서 있다. 그리고 이러한 추세와 더불어 우리는 몸에 착용할 수 있는 전자 장비를 이용하여 하루 일상생활에서 정보를 수집, 공유하는 4차 산업혁명 시대에 활동하고 있다. 따라서 소형 가전제품 및 디지털 기기를 사용하면서 재충전할 수 있는 이차전지 배터리의 역할은 점점 더 중요하게 증가하고 있다<sup>[1]</sup>.

또한 배터리를 제조하는 기술 발전으로 이차전지 배터리의 크기는 점점 작아지면서 효율성이 높아지고 있다. 따라서 이러한 기술개발 속도에 맞춰 이차전지 배터리 성능시험은 특성, 수명, 고장진단, 재활용 등의 다양한 시험방법을 요구하고 있다. 또한 배터리의 안전과 적절한 기능을 보장하기 위한 배터리 테스트 시스템 구축과 이에 따른 지침 및 올바른 기본지식이 고려되고 있다<sup>[2]</sup>. 따라서 본 논문에서는 배터리의 성능과 직접으로 연결된 시나리오별 충·방전에 따른 이차전지 리튬이온(Li-ion) 배터리의 특성에 대해 살펴보고자 한다.

## II. 리튬이온(Li-ion) 배터리 충·방전 특성

그림 1은 리튬이온(Li-ion) 배터리 US 18650의 충전 특성 그래프로 최대 충전전압 4.2V, 1A 정전류로 충전을 행할 경우, 배터리 전압은 서서히 상승해 약 1시간 경과 시에, 설정한 최대 충전전압에 도달하여 충전량은 약 80%에 달하는 결과를 보여주고 있다. 그 후 정전압 충전으로 변환하여, 충전전류는 감소해 가고 충전 개시한 후부터 약 2.5시간 경과 후에는, 충전전류는 0A 근방에 도달해 충전량은 100%에 달한다.

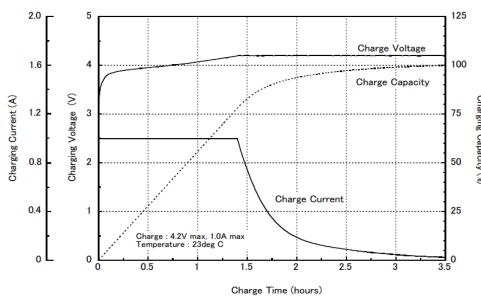


그림 1. 리튬이온(Li-ion) 배터리 충전특성  
Fig. 1. Lithium-ion battery charging characteristics

그림 2는 방전 특성곡선으로 각각의 방전 전류에 따른 배터리의 전압 및 방전용량의 변화를 보이고 있다. 그래프에서 보듯이 방전 전류가 작을수록 배터리의 전압과 방전용량은 증가하며, 방전 전류가 클수록 배터리 전압과 방전용량이 감소함을 알 수 있다<sup>[3]</sup>.

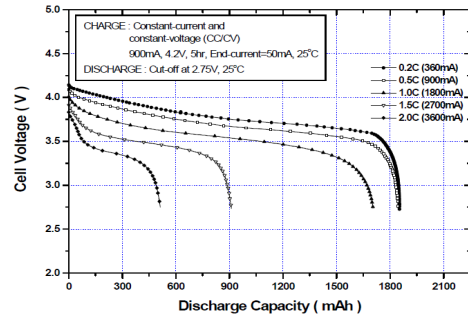


그림 2. 리튬이온(Li-ion) 배터리 방전특성  
Fig. 2. Lithium-ion(Li-ion) battery discharging characteristics

## III. 리튬이온(Li-ion) 배터리 및 BMS

시나리오별 충방전에 따른 리튬이온(Li-ion) 배터리의 특성을 살펴보기 위하여 사용된 리튬이온(Li-ion) 배터리 사양을 표 1에서 보여주고 있다. 14개의 cell이 직렬로 구성되어 공칭전압 50.4V(42.0~58.8V), 공칭용량 108Ah, 최대 충전조건 58.4V±1%, 54A, 방전종지전압 42.0V의 특성이 있다.

표 1. 리튬이온(Li-ion) 배터리 사양  
Table 1. Lithium-ion (Li-ion) battery specifications

Parameter	
전지형식 (Battery Type)	14S Li-ion
공칭전압 (Nominal voltage)	50.4V (42.0~58.8V)
공칭용량 (Nominal Capacity)	108Ah
충전방식 (Charging Method)	CC-CV
표준충전조건 (0.5C) (Standard Charging Condition)	58.4V±1%, 54A, CC-CV End current : 2.16A
최대충전조건 (Max Charging Condition)	58.4V±1%, 108A, CC-CV End current : 2.16A
표준방전전류 (0.5C) (Standard Discharge Current)	54A
최대방전전류 (Max Discharging Current)	162A
방전종지전압 (Discharge Cut-off Voltage)	42.0V(3.0V per cell)

표 2. 리튬이온(Li-ion) 배터리에 사용된 BMS 사양  
 Table 2. BMS specifications used in lithium-ion battery

Parameter	
과충전차단	4.20~4.25V±25mV per sell
과방전차단	2.50~2.90V±80mV per sell
과전류차단	100~125A±25% per module

BMS(Battery Management System)는 배터리를 모니터링하고, 상태를 예측하여 배터리를 보호하며, 데이터를 전달하고, 밸런스를 유지함으로써 배터리를 관리하는 역할을 한다. 이러한 BMS는 1) cell과 배터리 팩이 파손되지 않도록 보호, 2) 배터리가 적절한 온도와 전압 범위 내에서 작동할 수 있도록 유지하여 안전을 보장하고 그 수명을 가능한 한 길게 연장하여야 한다. 그리고 3) 부하의 요구조건을 만족하는 상태에서 작동하여야 하는 기본기능을 갖추어야 한다<sup>[4]</sup>.

표 2는 표 1에서 보여준 리튬이온(Li-ion) 배터리에 적용된 BMS의 사양으로 과충전에 대한 차단/복귀, 과방전에 대한 차단/복귀, 과전류 차단 기능을 보여주고 있다.

### III. 리튬이온(Li-ion) 배터리 충·방전 실험결과

시나리오별 충·방전 실험을 통해 리튬이온(Li-ion) 배터리의 특성을 살펴보기 위하여 Elektro-Automatik의 배터리 전용 양방향 DC 전원공급장치 EA-PSB 9360-40 3U를 이용하였다.

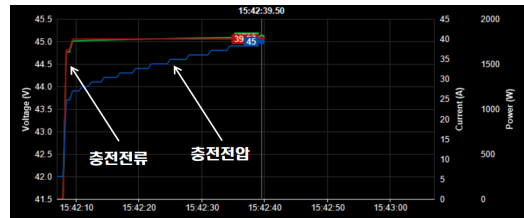
#### 1. 충전실험<sup>[5]</sup>

리튬이온(Li-ion) 배터리의 충전에 따른 특성을 살펴보기 위해 시나리오별 충전전압 및 충전전류를 1) 55V, 40A, 2) 55V, 20A로 설정하여 배터리 DC 전원공급장치에서 제공하는 simulator와 Logging data에 의한 실험 결과들을 다음의 내용들로 정리할 수 있다.

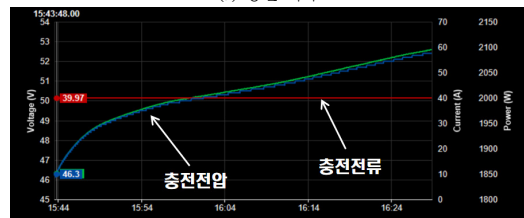
##### 가. 배터리 DC 전원공급장치 simulator 실험 결과

그림 3은 충전전압 및 충전전류를 55V, 40A로 설정 후 충전 진행에 따른 리튬이온(Li-ion) 배터리의 충전 결과에 대해 배터리 DC 전원공급장치 simulator를 통해 실험결과를 보여주고 있다. 그림 3(a)는 충전 시작 시의 결과로 40A의 정전류와 충전전압이 증가하고 있는 모습을 보여주고 있다. 충전 시작 이후 그림 3(b)에서는 리튬

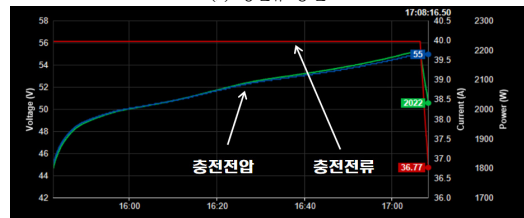
이온(Li-ion) 배터리의 전압이 계속 상승하는 모습을 보이고 있지만 충전전류는 40A의 정전류(CC, constant current)로 유지하면서 충전이 진행되고 있다. 또한 리튬이온(Li-ion) 배터리의 전압이 설정한 충전전압 55V에 도달하면서 정전류(CC) 충전에서 정전압(CV, constant voltage) 충전으로 전환되고 있는 과정이 그림 3(c)에서 진행되고 있다. 이후 정전압(CV) 충전으로 변환하여, 충전전류는 감소 및 0A 근방에 도달해 충전량이 100%에 도달하여 충전이 완료되고 있는 결과를 그림 3(d)를 통해 확인할 수 있다. 따라서 표 1의 리튬이온(Li-ion) 배터리 사양을 기반으로 충전전압 및 충전전류 55V, 40A로 충전 시 그림 1 리튬이온(Li-ion) 배터리 충전 특성의 그래프와 동일하게 정전류(CC) 충전, 정전압(CV) 충전을 통한 충전 결과를 보여주고 있다.



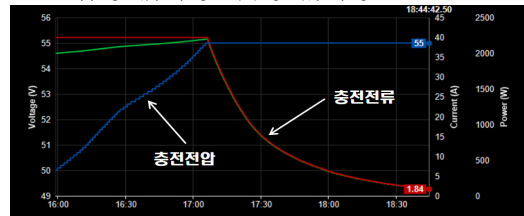
(a) 충전 시작



(b) 정전류 충전



(c) 정전류(CC) 충전에서 정전압(CV) 충전으로 전환



(d) 충전 완료

그림 3. 충전 진행에 따른 배터리 충전 실험 결과 (55V, 40A)  
 Fig. 3. Battery charging test results according to charging progress

나. Logging data 실험 결과

(1) 충전전압 및 충전전류 55V, 40A

그림 4는 충전전압 및 충전전류를 55V, 40A로 설정 후 충전 진행에 따른 리튬이온(Li-ion) 배터리의 충전 결과에 대해 logging data를 이용한 결과를 나타내고 있다. 그림 3 충전 진행에 따른 리튬이온(Li-ion) 배터리 충전실험에 대한 simulator 실험 결과와 동일하게 최초 40A 정전류(CC) 충전으로 배터리 전압이 증가하는 모습을 CC 모드 구간에서 보여주고 있다. 이후 배터리 전압이 설정된 충전전압 55V 도달 시 정전압(CV) 충전으로 전환되면서 정전류 40A는 충전량이 100% 도달 시까지 계속 감소하여 0A에 도달, 충전이 완료되고 있다.

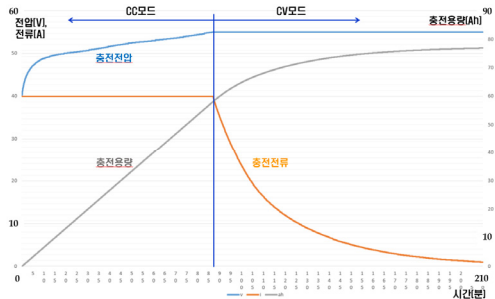


그림 4. 배터리 충전 실험결과 (55V, 40A)  
Fig. 4. Battery charging test results

표 1에서 리튬이온(Li-ion) 배터리의 방전종지 전압 (cut-off)은 42V로 충전실험을 하기 전 배터리 방전시험이 완료된 후 충전시험을 진행하였다. 따라서 그림 5에서 초기 충전 시 시작 전압은 42V에서 시작되고 있음을 보여주고 있다. 이후 설정된 충전전압 55V로 충전이 진행되면서 210분(2시간 30분)의 충전 시간과 78Ah의 충전용량 값의 측정 결과를 보여주고 있다(충전전류 40A 시). 실험에 사용한 리튬이온(Li-ion) 배터리는 표준 충전조건 58.4V±1%, 54A 시 0.5C(2시간)의 충전율과 공칭용량 108Ah의 특성 대비 시나리오별 충전전압 및 전류에 대한 새로운 결과를 확인할 수 있다.

(2) 충전전압 및 충전전류 55V, 20A

그림 5는 충전전압 및 충전전류를 55V, 20A 설정 시 리튬이온(Li-ion) 배터리의 충전 결과에 대한 그래프로 앞서 그림 4에서 설명한 내용과 동일하게 충전이 진행되고 있는 것을 확인할 수 있다. 충전전류 20A에 의해 충전용량 값이 78Ah로 측정된 결과는 앞서 실험한 충전전류 40A일 때와 동일한 결과지만 충전이 완료되는데 소

요된 시간은 약 6시간(370분)으로 충전 시간의 차이점을 볼 수 있다.

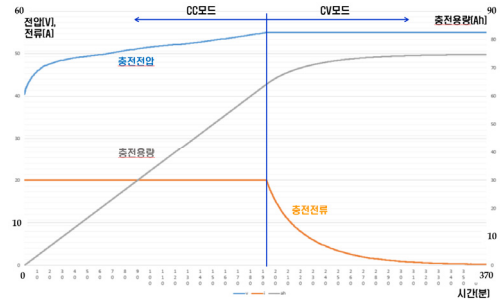


그림 5. 배터리 충전 실험 결과 (55V, 20A)  
Fig. 5. Lithium-ion(Li-ion) battery charging test results

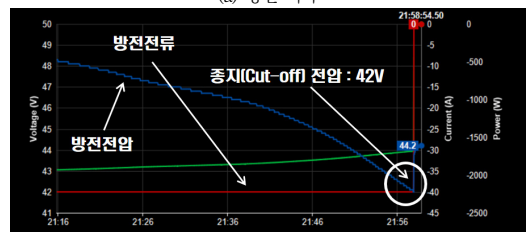
2. 방전 실험<sup>[6]</sup>

리튬이온(Li-ion) 배터리의 방전에 따른 특성을 살펴 보기 위해 시나리오별로 1) 방전 전류값에 따른 방전 특성 2) 방전종지 전압(cut-off)값 차이에 따른 방전 특성에 대해 살펴보았다. 충전실험과 동일하게 배터리 DC 전원공급장치에서 제공하는 simulator와 Logging data에 의한 실험 결과들을 다음의 내용들로 정리할 수 있다.

가. 배터리 DC 전원공급장치 simulator 실험 결과



(a) 방전 시작



(b) 방전 종료

그림 6. 방전 진행에 따른 배터리 방전 실험 결과 (방전 전류 40A, 방전종지 전압 42V 설정)

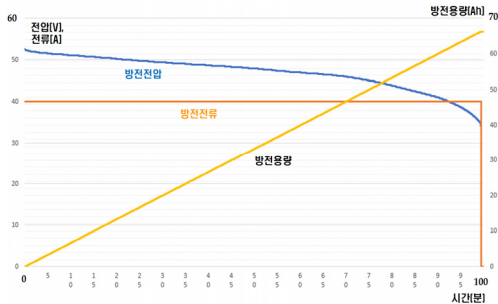
Fig. 6. Battery discharging test results according to discharging progress

충전실험과 동일하게 방전 전류 40A, 방전종지 전압 (cut-off) 42V 설정 후 배터리 방전 시 그림 6에서 방전 시작, 방전 종료 시의 결과를 각각 보여주고 있다. 방전 시작 시 설정한 방전 전류 40A의 정전류가 흐르면서 배터리에 저장된 전압이 계단식의 감소하는 그래프를 그림 6(a)에서 보여주고 있다. 또한 그림 6(b)에서는 설정한 방전종지 전압(cut-off)이 42V 도달 시 정전류로 흐르던 방전 전류가 0A가 됨으로써 방전이 종료되는 결과를 보인다.

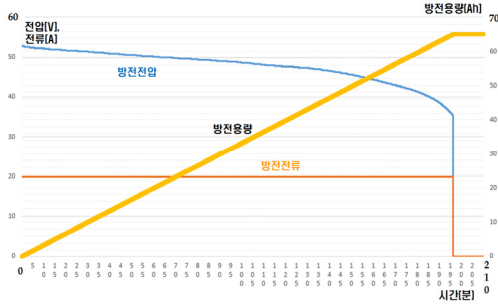
나. Logging data 실험 결과

(1) 방전전류 값에 따른 방전 실험

그림 7은 앞서 충전전압 55V, 충전용량 78Ah로 리튬이온(Li-ion) 배터리가 충전된 상태에서 방전전류 값에 따른 방전 실험 결과들을 보여주고 있다. 그림 7(a)는 방전 전류 40A, 그림 7(b)는 방전 전류 20A로 설정 후 방전 진행에 따른 방전전압, 방전 전류, 방전용량에 대한 각각의 그래프를 통해 방전 특성을 살펴볼 수 있다.



(a) 방전 전류 40A



(b) 방전 전류 20A

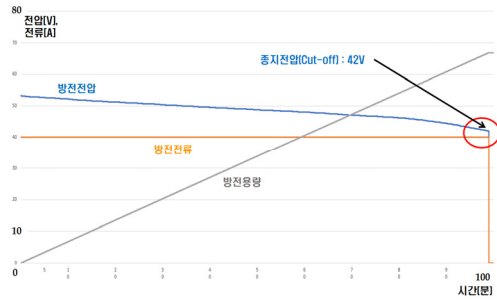
그림 7. 배터리 방전 전류값에 따른 방전 실험 결과  
 Fig. 7. Discharging test result according to battery discharge current value

리튬이온(Li-ion) 배터리의 방전은 설정한 방전 전류의 정전류(CC)값을 방전 종료 때까지 계속 유지하면서

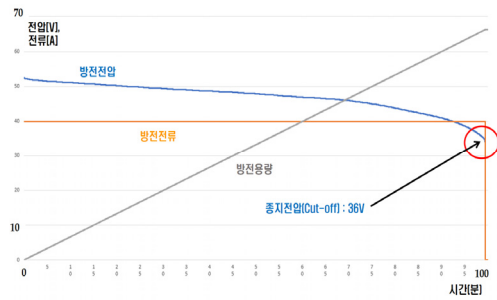
시간에 따라 배터리 전압이 감소하는 특성을 보인다. 또한 방전 전류 40A 시 방전 완료 시간은 100분, 20A 시 방전 완료 시간은 195분이 소요되는 시간적 차이가 있었지만, 방전 완료 시까지 방전된 용량은 두 실험 동일하게 68Ah로 측정되었다. 그림 3을 통해 배터리에 충전된 용량은 78Ah지만 방전된 용량은 68Ah로 배터리의 수명 및 효율적 운전을 위해 BMS를 통해 완전 방전이 차단된 것을 확인할 수 있다.

(2) 방전종지 전압값 차이에 따른 방전 실험

방전종지 전압(cut-off voltage)은 리튬이온(Li-ion) 배터리를 보호하기 위한 전압으로 대략 셀당 3.0~2.3V로 이 이하로 사용하게 되면 자동으로 BMS에서 사용을 멈추게 동작한다. 실험에 사용한 배터리의 방전종지 전압값은 표 1과 같이 42V로 설정되어 있으며 그림 10은 설정된 방전종지 전압값을 42V와 0V로 각각 설정 후 이에 대한 방전 실험 결과를 보여주고 있다.



(a) 방전종지 전압(cut-off)값 42V



(b) 방전종지 전압(cut-off)값 0V

그림 8. 방전종지 전압(cut-off)값 차이에 따른 배터리 방전 실험 결과  
 Fig. 8. Battery discharge test result according to the cut-off voltage

그림 8(a)는 사용한 배터리 내부의 BMS에서 설정된 42V값을 방전 실험에서 방전종지 전압값으로 설정 시 방전 특성에 관한 결과이다. 배터리 전압이 최초 충전된

상태에서 방전 전류의 정전류 40A가 흐르면서 방전이 진행되면서 배터리 전압이 감소하는 것을 살펴볼 수 있다. 또한 감소하고 있는 배터리 전압이 설정된 방전종지 전압 42V에 도달하였을 때 방전이 중지됨으로써 BMS가 배터리의 안전을 위하여 정확히 동작하고 있음을 알 수 있다.

그림 8(b)는 배터리 내부의 BMS에서 설정된 방전종지 전압이 42V지만 방전 실험에서 방전종지 전압값을 0V로 설정 시 방전 실험 결과로 그림 8(a)와 동일하게 방전이 진행되면서 배터리의 전압이 감소하고 있다. 그러나 방전전압이 36V에서 방전이 중지되고 있으며 이는 외부에서 강제로 배터리 전압을 0V의 완전 방전을 시도하여도 내부의 BMS를 통해 과방전 차단이 동작하고 있음을 보여주고 있다. 따라서 표 1에 표시된 BMS의 과방전 차단 사양은 “2.50~2.90V±80mV per cell”로 해당된 사양을 기준으로 14 cell×(2.5V+80mV)=36.12V로 과방전 차단전압을 유추할 수 있다.

## V. 결 론

이차전지 배터리를 제조하는 기술 발전으로 배터리의 크기는 점점 작아지면서 효율성이 높아지고 있다. 따라서 이러한 기술개발 속도에 맞춰 배터리 성능시험은 특성, 수명, 고장진단, 재활용 등의 다양한 시험방법을 요구하고 있다. 따라서 본 논문에서는 배터리의 성능과 직접으로 연결된 시나리오별 충·방전에 따른 이차전지 리튬이온(Li-ion) 배터리의 특성에 관해 연구하였다.

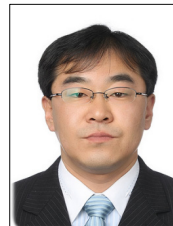
## References

- [1] J. E. Kim, and D. S. Rho, “Charging/ Discharging Modeling of Lithium Secondary Battery for Estimating Cycle Characteristic,” Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, vol. 8, no. 6, pp. 1343~1354, 2007.
- [2] D. H. Lee and D. Y. Yoon, “Computational Modeling of Charge-Discharge Characteristics of Lithium-Ion Batteries,” Journal of Energy Engineering, vol. 20, no. 4, pp. 278~285, 2011.  
DOI: <https://doi.org/10.5855/ENERGY.2011.20.4.278>

- [3] Y. R. Lee, K. H. Cho, G. S. Byeon, J. Y. Kim, “Analysis of Empirical Data of Lithium-ion Battery for Predictive Maintenance of ESS, Trans. on KIEE., vol. 70, no. 11, pp. 1677~1684, 2021.  
DOI: <https://doi.org/10.5370/KIEE.2021.70.11.1677>
- [4] P. S. Woo, J. H. Kim, K. M. Shon, “Analysis for Safety Technology through Real-time Monitoring of Electrical Energy Storage System based on Lithium-ion Battery,” Trans. on KIEE., vol. 70, no. 12, pp. 1897~1902, 2022.  
DOI: <https://doi.org/10.5370/KIEE.2022.71.12.1897>
- [5] T. S. Mun, D. H. Han, S. U. Kwon, J. B. Baek, J. H. Kim, State-of-Health Estimation of Lithium-Ion Battery based on Convolutional Neural Network considering Health Indicator Extraction, Trans. on KIEE., vol. 70, no. 10, pp. 1467~1474, 2021.  
DOI: <https://doi.org/10.5370/KIEE.2021.70.10.1467>
- [6] J. W. Yang, W. C. Kim, J. W. Shim, K. Hur, “Study on Charging methodology to enhance efficiency of Li-ion Battery ESS,” *conf. of KIEE*, pp. 312~314, 2012.

## 저 자 소 개

### 윤 용 호(정회원)



- 성균관대학교 메카트로닉스공학과 (공학박사)
- 삼성탈레스 종합연구소 전문연구원
- 현재 : 광주대학교 전기전자공학부 교수
- 주관심분야 : 전동기 제어 및 신재생에너지

※ 이 연구는 2023년도 광주대학교 대학 연구비의 지원을 받아 수행되었음.