

<https://doi.org/10.7236/JIIBC.2024.24.2.127>  
JIIBC 2024-2-19

## 배터리 시뮬레이터를 이용한 리튬이온 배터리와 납축전지 특성분석

### Characteristic Analysis of Lithium-ion Battery and Lead-acid Battery using Battery Simulator

윤용호\*

Yongho Yoon\*

**요약** 최근 이차전지는 다양한 산업 분야에서 사용되고 있다. 특히 소형 및 경량의 특성으로 스마트폰, 노트북, 태블릿 등 다양한 휴대용 전자기기에서 높은 에너지 밀도와 충·방전 효율을 토대로 전기자동차와 에너지저장시스템(Energy Storage System, ESS)의 핵심 부품으로 사용되고 있다. 하지만 이차전지의 과도한 충·방전에 따른 수명감소, 파열, 손상, 화재 등의 문제점이 발생하고 있다. 따라서 BMS(Battery Management System)를 통하여 과도한 충·방전을 보호하고 성능을 향상시킨다. 하지만 실제 리튬이온 배터리를 사용하여 BMS의 차단 및 보호범위 설정하는 데 있어서 이차전지의 수명감소, 파열, 손상, 화재의 문제점이 따른다. 따라서 본 논문에서는 배터리 충방전기와 시뮬레이터를 활용하여 이차전지 중 사용이 높은 리튬이온 배터리와 납축전지의 충전 및 방전 특성을 살펴본다.

**Abstract** Recently, secondary batteries, commonly known as rechargeable batteries, find widespread applications across various industries. Particularly valued for their compact and lightweight characteristics, they play a crucial role in diverse portable electronic devices such as smartphones, laptops, and tablets, offering high energy density and efficient charge-discharge capabilities. Moreover, they serve as vital components in electric vehicles and contribute significantly to the field of renewable energy as part of Energy Storage Systems(ESS). However, despite advancements in this technology, issues such as reduced lifespan, cracking, damage, and even the risk of fire can arise due to excessive charging and discharging of secondary batteries. To address these challenges, Battery Management System(BMS) are employed to protect against overcharging and improve overall performance. Nevertheless, understanding the protective range settings of BMS using lithium-ion batteries, the most commonly used secondary batteries, and lead-acid batteries can be challenging. Therefore, this paper aims to utilize a battery charge-discharge tester and simulator to investigate the charging and discharging characteristics of lithium-ion batteries and lead-acid batteries, addressing the associated challenges of reduced lifespan, cracking, damage, and fire hazards in secondary batteries.

**Key Words** : Li-ion Battery, Lead-acid Battery, Battery Simulator Test Facility, Battery Management System

\*정회원, 광주대학교 전기공학과  
접수일자 2024년 2월 24일, 수정완료 2024년 3월 24일  
게재확정일자 2024년 4월 5일

Received: 24 February, 2024 / Revised: 24 March, 2024 /  
Accepted: 5 April, 2024

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

## I. 서 론

최근 이차전지는 다양한 산업 분야에서 사용되고 있다. 특히 소형 및 경량의 특성으로 스마트폰, 노트북, 태블릿 등 다양한 휴대용 전자기기에서 높은 에너지 밀도와 충·방전 효율을 토대로 전기자동차와 에너지저장시스템(Energy Storage System, ESS)의 핵심 부품으로 사용되고 있다. 하지만 이차전지의 과도한 충·방전에 따른 수명감소, 파열, 손상, 화재 등의 문제점이 발생하고 있다. 따라서 BMS(Battery Management System)를 통하여 과도한 충·방전을 보호하고 성능을 향상시킨다.

하지만 실제 리튬이온 배터리를 사용하여 BMS의 차단 및 보호범위 설정하는 데 있어서 이차전지의 수명감소, 파열, 손상, 화재의 문제점이 따른다<sup>[1]</sup>. 따라서 본 논문에서는 배터리 충방전기와 시뮬레이터를 활용하여 이차전지 중 사용이 높은 리튬이온 배터리와 납축전지의 충전 및 방전 특성을 살펴본다.

## II. 배터리 시뮬레이터를 이용한 성능분석용 배터리 시험설비 구성

본 논문에서 리튬이온 배터리, 납축전지의 성능분석을 위한 시험설비는 배터리 전용 양방향 DC 전원공급장치와 리튬이온 배터리와 납축전지를 가상화한 배터리 시뮬레이터를 이용하여 구성하였다.

### 1. 배터리 전용 양방향 DC 전원공급장치

배터리 시뮬레이터를 통해 리튬이온 배터리와 납축전지의 안전과 적절한 기능을 보장하기 위한 배터리 시험설비가 필요하다. 특히 이차전지의 충·방전 시 배터리의 응답특성과 방전전류를 일정한 주기로 on/off 시켜 이차전지에 스트레스를 줌으로써 다이내믹 특성을 확인할 필요가 있다. 따라서 이러한 특성을 확인 및 실험구성을 하기 위해 Elektro-Automatik에서 제작한 배터리 전용 양방향 DC 전원공급장치(EA-PSB 9360-40)를 배터리 충·방전기로 사용하였다<sup>[2]</sup>.

배터리 전용 양방향 DC 전원공급장치를 이용하여 리튬이온 배터리와 납축전지를 가상화하여 소프트웨어로 구성된 배터리 시뮬레이터를 충전하는 과정을 그림 1에서 보여주고 있다. 리튬이온 배터리는 58.4V, 20A, 1.08A를 납축전지는 53.3V, 20A, 4A로 각각 충전전압,

충전전류, 충전종지전류 순으로 설정하였다.

배터리 전용 양방향 DC 전원공급장치를 이용하여 배터리 시뮬레이터의 방전시험을 위해 그림 2(a)에서는 방전전류 20A, 방전전력 5kW, 방전종지전압 42V 설정을 보여주고 있다. 또한 그림 2(b)는 다이내믹 방전시험을 위해 리튬이온 배터리와 납축전지에 동일하게 30초 동안 0.5 duty를 가지면서 20A의 전류를 흘리면서 방전종지전압인 42V까지 방전하는 시험을 볼 수 있다.

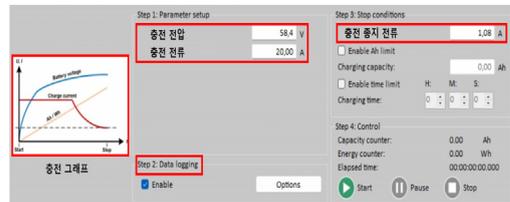
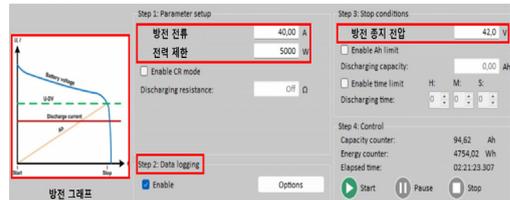
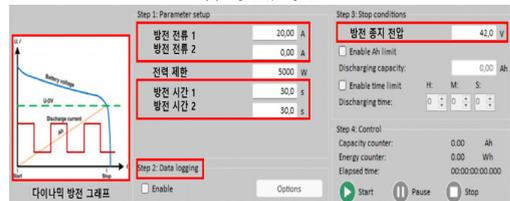


그림 1. 충전시험을 위한 배터리 전용 양방향 DC 전원공급 장치의 설정

Fig. 1. Setup of a battery-specific bidirectional DC power supply for charging testing



(a) 정전류 방전



(b) 다이내믹 방전

그림 2. 방전시험을 위한 배터리 전용 양방향 DC 전원공급 장치의 설정

Fig. 2. Setup of a battery-specific bidirectional DC power supply for discharging testing

그림 3은 리튬이온 배터리를 충·방전 시 프로그램에서 입력한 데이터값들을 기준으로 실시간으로 배터리의 전압, 전류, 전력에 대한 상태정보를 확인할 수 있다. 따라서 실시간으로 충·방전 시 배터리 현재상태에 대한 모니터링과 상태정보들을 파악하여 과도한 충·방전을 보호함으로써 배터리의 안전을 도모할 수 있다.

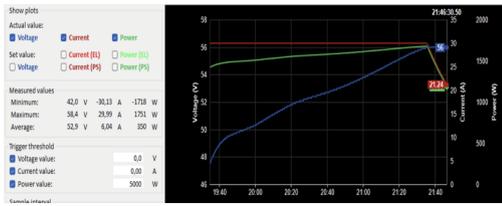


그림 3. 리튬이온 배터리 충·방전에 따른 상태정보  
 Fig. 3. Status information according to secondary battery charging · discharging

## 2. 리튬이온 배터리, 납축전지를 가상화한 배터리 시뮬레이터

성능분석용 배터리 시험설비를 구성하기 위해 본 논문에서 사용한 배터리 시뮬레이터는 리튬이온 배터리와 납축전지를 각각 가상화하여 Elektro-Automatik에서 제작한 EA-PSB 11500-60을 사용하였다.



(a) 소프트웨어 프로그램



(b) 배터리 충·방전에 따른 상태정보

그림 4. 배터리 시뮬레이터 프로그램 및 배터리 상태정보  
 Fig. 4. Battery simulator program and battery status information

그림 4(a)은 배터리 시뮬레이터를 이용하여 리튬이온 배터리, 납축전지의 충·방전 시험을 하기 위한 프로그램으로 각각의 시험조건을 입력할 수 있다. 배터리의 종류(리튬이온 배터리, 납축전지), 직·병렬 구조, 잔존용량(SOC, State Of Charge), 수명상태(SOH, State of Health), 용량, 온도 등의 충·방전 시험에 필요한 내용들을 설정할 수 있다. 또한 Cut-off limits는 실제 배터리에 사용되고 있는 BMS(Battery Management System)의 기능을 수행한다. 따라서 고전류 차단(fuse)

의 기능과 배터리 셀의 최대전압과 최소전압에 대한 허용전압 범위를 설정할 수 있으며 허용전압 범위 이외의 범위는 차단하는 형식으로 동작한다.

그림 4(b)은 배터리 시뮬레이터를 통하여 충·방전 시 배터리의 전압, 전류, 전력, 내부저항, 잔존용량(SOC), 수명상태(SOH), 온도에 대한 상태정보에 실시간 결과를 보여주고 있다. 따라서 그림 3에서 보여준 배터리 전용 양방향 DC 전원공급장치의 실시간 상태정보와 비교하였을 때 잔존용량(SOC), 수명상태(SOH), 온도, 내부저항 등 충방전기에서 파악할 수 없는 배터리의 세부 정보들을 확인할 수 있다.

## 3. 성능분석용 배터리 시험설비 전체 구성

배터리를 가상화하여 소프트웨어로 구성된 리튬이온 배터리 및 납축전지 시뮬레이터와 배터리 전용 양방향 DC 전원공급장치를 이용하여 충·방전실험을 하기 위하여 그림 5와 같이 성능분석용 배터리 시험설비를 구성하였다.

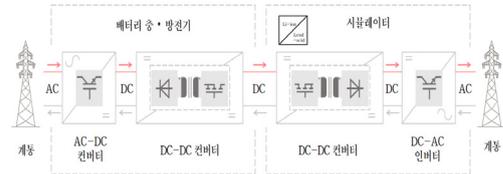


그림 5. 성능분석용 배터리 시험설비 전체 구성  
 Fig. 5. Complete configuration of battery test equipment for performance analysis

그림 5에서 배터리 시뮬레이터와 배터리 전용 양방향 DC 전원공급장치는 서로 충·방전 시 역할이 바뀐다. 충전시 배터리 전용 양방향 DC 전원공급장치는 계통에서 AC-DC 컨버터를 통하여 충전전압을 공급하고 배터리 시뮬레이터에서는 공급받은 충전전압을 DC-DC 컨버터, DC-AC 인버터를 거쳐 계통으로 회생하는 에너지의 흐름을 볼 수 있다. 반대로 방전시는 배터리 시뮬레이터와 배터리 전용 양방향 DC 전원공급장치의 역할이 서로 바뀌어 위에서 언급한 에너지 흐름의 반대로 동작이 된다.

## III. 실험결과

### 1. 리튬이온 배터리 시뮬레이터 사양

리튬이온 배터리와 납축전지에 대한 특성을 확인하기

위해 그림 5와 같이 구성한 시험설비에서 사용된 각 배터리의 시뮬레이터 사양을 표 1, 2에서 보여주고 있다.

**표 1. 리튬이온 배터리 시뮬레이터 사양**  
**Table 1. Lithium-ion battery simulator specifications**

Parameter	Value
전지형식 (Battery Type)	14S(Serial, 직렬) Li-ion
공칭전압 (Nominal voltage)	50.4V(3.0~4.2V per cell)
공칭용량 (Nominal Capacity)	54Ah
표준충전조건 (0.5C) (Standard Charging Condition)	58.4V±1%, 27A, CC-CV End current : 1.08A(0.02C)
최대충전조건 (1C) (Max Charging Condition)	58.4V±1%, 40A, CC-CV End current : 1.08A(0.02C)
표준방전전류 (0.5C) (Standard Discharge Current)	27A
최대방전전류 (0.74C) (Max Discharging Current)	40A
방전종지전압 (Discharge Cut-off Voltage)	42.0V(3.0V per cell)

**표 2. 납축전지 시뮬레이터 사양**  
**Table 2. Lead-acid battery simulator specifications**

Parameter	Value
전지형식 (Battery Type)	4S(Serial, 직렬) Li-ion
공칭전압 (Nominal voltage)	48V(10.5~16Vper cell)
공칭용량 (Nominal Capacity)	40Ah
표준충전조건 (0.5C) (Standard Charging Condition)	53.3V±1%, 20A, CC-CV
최대충전조건 (1C) (Max Charging Condition)	53.3V±1%, 40A, CC-CV
표준방전전류 (0.5C) (Standard Discharge Current)	20A
최대방전전류 (1C) (Max Discharging Current)	40A
방전종지전압 (Discharge Cut-off Voltage)	42.0V(10.5V per cell)

표 1은 리튬이온 배터리 시뮬레이터의 사양으로 14개의 직렬 연결된 셀로 구성되어 있으며 셀당 전압은 3.0~4.2V, 총 전압범위 42.0V~58.8V, 공칭전압 50.4V, 공칭용량은 54Ah이다. 반면에 표 2는 납축전지 시뮬레이터 사양으로 4개의 직렬 연결된 셀로 구성되어 있으며 셀당 전압 10.5~16V 총 전압범위 42.0V~64V, 공칭전압 48V, 공칭용량은 40Ah의 사양을 보여주고 있다. 또한 표 1, 2에서 최대 충·방전 조건의 전류량은 배터리 충방전기의 최대 전류량인 40A로 설정하였으며 표준 충·방전 조건은 0.5C(Current rate, 충방전속도)를 기준으로 설정하였다.

## 2. 리튬이온 배터리 시뮬레이터 실험결과

그림 6은 배터리 시뮬레이터를 이용하여 설계한 리튬이온 배터리의 충·방전에 따른 실험결과를 보여주고 있다. 그림 6(a)는 충전전압 58.4V, 충전전류 20A로 CC-CV 충전 결과로 시험 시작 후 130분까지 전류는 일정하게 흐르면서 전압은 증가하면서 충전이 진행되고 있다. 이후 전압은 일정한 값을 유지, 전류는 감소하며 과충전을 방지하는 CV 모드의 충전을 보여주고 있다<sup>3)</sup>. 또한 충전시 배터리상태(SOC)가 0%에서 100%에 근접하는 값으로 증가하는 결과를 확인할 수 있다.

그림 6(b)는 방전종지전압 42.0V, 방전전류 20A로 설정 시 방전시험에 대한 결과로 배터리 상태(SOC)가 100% 부터 0%까지 감소할 때 방전전류가 일정하게 흐르면서 있으며 방전전압이 감소하는 결과를 보여주고 있다. 이때 방전종지전압은 42V로 설정하였으나 배터리 시뮬레이터의 시스템에서 배터리상태의 범위가 49V~58.4V로 설정되어 있어 49V에 도달하면 배터리 상태가 0%가 되어 방전이 종료되었다.

그림 6(c)는 1주기당 1분으로 0.5 duty를 가지는 방전전류 20A를 흘렸을 때 다이نام릭 방전에 대한 결과를 보여주고 있다. 다이نام릭 방전이 진행되면서 전압과 전류의 미세한 변화를 그림 6(d)를 통하여 확인할 수 있다. 0.5 duty를 가지는 방전전류 20A의 전류가 흐르고 정지함을 반복하면서 리튬이온 배터리 전압값이 서서히 감소하고 있음을 알 수 있다.

## 3. 납축전지 시뮬레이터 실험결과<sup>4,5,6)</sup>

그림 7은 배터리 시뮬레이터를 이용하여 설계한 납축전지의 충·방전에 따른 실험결과를 보여주고 있다. 그림 7(a)는 충전전압 53.3V, 충전전류 20A로 CC-CV 충전 실험결과로 충전 시작 후 약 30분까지 전류는 일정하게 흐르면서 전압은 상승하는 CC 모드의 충전이 진행되고 있다. 이후 충전전압은 일정하면서 충전전류가 감소하면서 과충전을 방지하는 CV 모드의 충전이 되고 있다. 그림 6(a)에서 나타낸 리튬이온 배터리 시뮬레이터의 결과와 다르게 납축전지 시뮬레이터는 CC 충전보다 CV 충전구간이 길어지는 차이점을 보여주고 있다.

그림 7(b)는 방전종지전압 42.0V, 방전전류 20A 설정시 방전실험결과로 배터리 상태(SOC)가 100%부터 38%까지 감소할 때 방전전류는 일정하게 흐르면서 방전전압은 감소하고 있다. 표 2에서 설정한 방전종지전압 42V에 의해 배터리 상태(SOC)가 0%가 되지 않았어도 BMS에 의해 과방전을 차단하기 위하여 방전이 중지되는

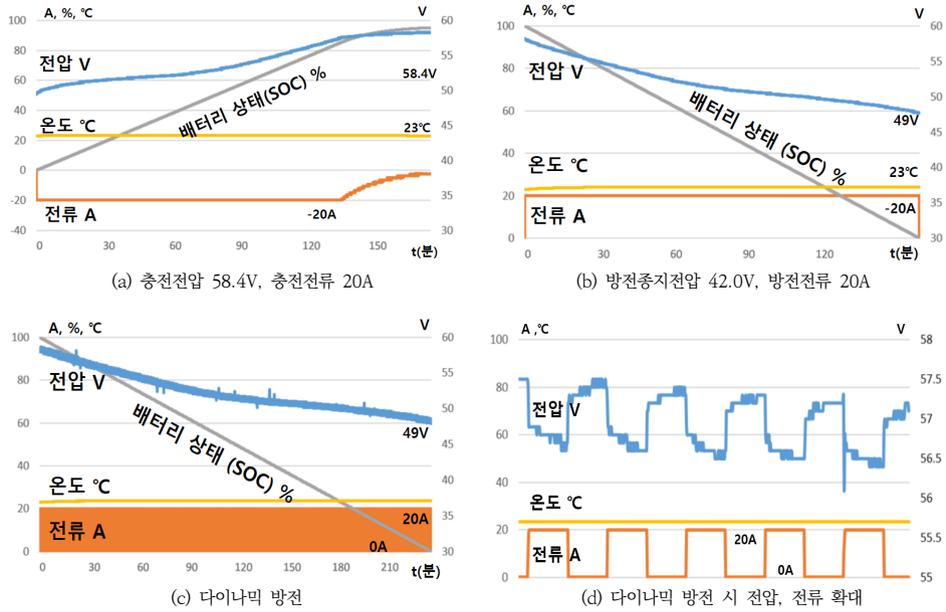


그림 6. 리튬이온 배터리 시뮬레이터 실험결과  
 Fig. 6. Lithium-ion battery simulator experiment results

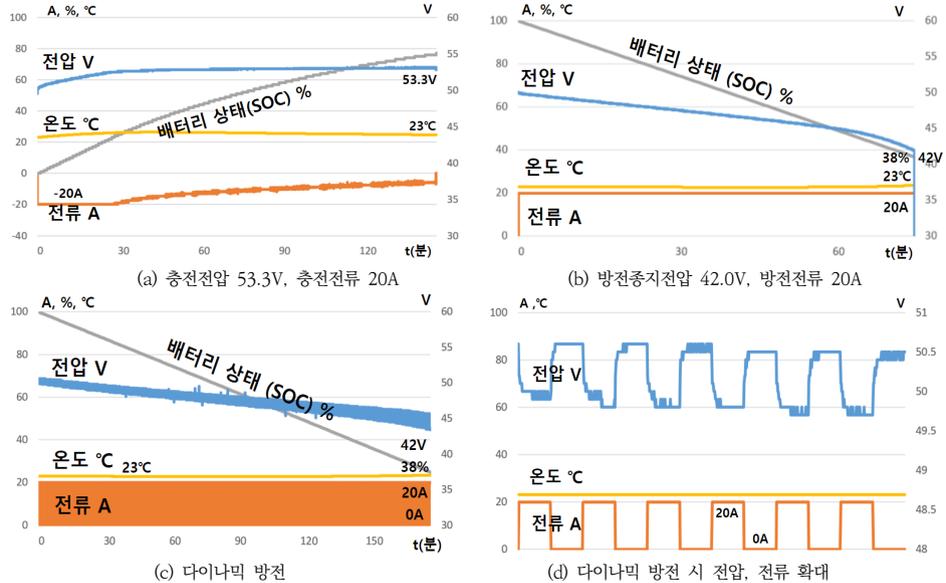


그림 7. 납축전지 시뮬레이터 실험결과  
 Fig. 7. Lead acid battery simulator experiment results

결과도 보여주고 있다.

그림 7(c)는 1주기당 1분으로 0.5 duty를 가지는 방전전류 20A가 on/off 되는 다이내믹 방전에 대한 결과를 보여주고 있다. 그림 7(b)에서 보여준 방전실험의 결과와 동일하게 42V의 방전종지전압에서 방전이 종료되

었다.

그림 7(d)는 다이내믹 방전 시 전압, 전류에 대한 확대 파형으로 전류가 20A 상태에서는 전압이 점점 감소하고 있지만 0A 상태에서는 OCV(Open Circuit Voltage)상태가 되어 전압이 상승하고 있음을 알 수 있다.

## IV. 결 론

리튬이온 배터리와 납축전지는 휴대용 전자기기에서 전기자동차와 에너지저장시스템(ESS)의 핵심 부품으로 사용되고 있지만 과도한 충·방전에 따른 수명감소, 파열, 손상, 화재 등의 문제점이 발생하고 있다. 따라서 본 논문에서는 배터리 충방전기와 시뮬레이터를 활용하여 리튬이온 배터리와 납축전지의 충전 및 방전 특성에 대해 살펴보기 위해 성능분석용 배터리 시험설비를 구성하였다.

배터리를 가상화하여 소프트웨어로 구성된 리튬이온 배터리 및 납축전지 시뮬레이터와 배터리 전용 양방향 DC 전원공급장치를 이용하여 각 배터리의 충·방전 특성을 살펴보면 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

- (1) 리튬이온 배터리와 납축전지의 충방전 특성에 대한 성능을 분석하기 위하여 배터리 시뮬레이터 및 배터리 전용 양방향 DC 전원공급장치를 이용하여 성능분석용 배터리 시험설비 구축.
- (2) 성능분석용 배터리 시험설비를 이용하여 배터리 동작 한계에 도달하는 스트레스성 시험을 통해 각 배터리에 대한 충방전 특성 파악.
- (3) 배터리의 안전과 적절한 기능을 보장하기 위한 성능분석용 배터리 시험설비 필요.
- (4) 소프트웨어적으로 구성된 배터리를 이용하여 실제 하드웨어적으로 구성된 배터리 시험에 대해 우선적 실험을 통해 성능분석 가능.

## References

- [1] S. C Bang and Y. H. Yoon, "Performance and Reliability Analysis using Test Facilities for Secondary Lithium-ion Batteries," KIEE, vol. 72, no. 12, pp. 1789~1794, 2023.
- [2] Y. H Yoon, Characteristics of Lithium-ion(Li-ion) Batteries according to Charging and Discharging by Scenario," The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication (IIBC), vol. 23, no. 4, pp. 171-176, 2023.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.7236/IIBC.2023.23.4.171>
- [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] C. M. Kim, S. B. Bang, K. M. Shong, "A Study on the Establishment of Impedance/Conductance Guide Line for Diagnosis of Lead-Acid Battery's State of Health(SOH)," Trans. on KIEE, vol. 58P, no. 2, pp. 214~220, 2009.
- [5] Tremblay, O., Dessaint, L.-a., Dekkiche, A.-I., "A generic Battery Model for the Dynamic Simulation of Hybrid Electric Vehicles", Vehicle Power and Propulsion Conference, 2007. VPPC 2007. IEEE ,PP. 284-289, 9-12 Sept. 2007.
- [6] Tremblay, O., Kessaint, "Experimental Validation of a Battery Dynamic Model for EV Applications", EVS24 International Battery, Hybrid and Fuel Cell Electric Vehicle Symposium, May 13-16, 2009.

## 저 자 소 개

### 윤 용 호(정회원)



- 성균관대학교 메카트로닉스공학과 (공학박사)
- 한국산업기술시험원 책임연구원
- 현재 : 광주대학교 전기공학과 교수
- 주관심분야 : 전동기 제어 및 신재생 에너지

※ 이 연구는 2024년도 광주대학교 대학 연구비의 지원을 받아 수행되었음.