

## 인버터 레벨 방전 방식에 따른 급속 충·방전 배터리의 수명 특성

송태현<sup>1</sup> · 양현숙<sup>2</sup> · 김윤식<sup>3</sup> · 이성근<sup>†</sup>

(Received August 16, 2018 ; Revised September 17, 2018 ; Accepted September 19, 2018)

### Investigation of the lifespan characteristics of a rapid charge / Discharge battery using the inverter level discharge method

Tae-Hyun Song<sup>1</sup> · Hyun-Suk Yang<sup>2</sup> · Yoon-Sik Kim<sup>2</sup> · Sung-geun Lee<sup>†</sup>

**요약:** 배터리는 환경, 동작 전압 및 서지에 대한 스트레스를 받을 때 점진적으로 열화된다. 배터리의 열화로 인해 수명 단축 및 비정상적 현상이 나타나며, 이로 인해 배터리와 접속된 회로 및 시스템에 고장의 원인이 된다. 본 논문에서는 친환경, 자율운항 선박에 사용되는 리튬 배터리의 급속 충·방전시 방전부 타입에 따른 수명 변화를 연구하였다. 방전부 타입 변화에 따른 시험은 레벨이 서로 다른 인버터를 적용하여 급속 노화 시험을 통해 수명 변화를 관찰하였다. 수명 측정방법으로는 CC(Constant Current)를 이용한 내부 저항 측정하는 방식을 이용하였고, 측정된 배터리의 열화 과정과 수명 관계가 조사되었다. 그 결과, 배터리의 수명은 레벨이 높은 인버터(Inverter)를 적용하여 충·방전하는 경우가 더 향상된다는 것을 알 수 있다.

**주제어:** 배터리, 인버터, 급속 충·방전

**Abstract:** Batteries gradually degrade when subjected to stresses by the environment, operating voltages, and surges. The deterioration of a battery leads to a shortened lifespan and the occurrence of abnormal phenomena, which may cause malfunctioning of the circuit and the system connected to the battery. In this paper, we investigated the lifespan variation of a lithium battery used in eco-friendly and self-propelled ships, for various types of discharge, during rapid charging and discharging. In the test, according to the type of discharge, the change in lifespan was observed through a rapid aging test by applying inverters of different levels to the battery. The internal resistance measurement method using constant current was used to measure the lifespan of the battery, and the deterioration process and life relation of the measured battery were investigated. It was observed that the lifespan of the battery was improved during charging and discharging by applying a high-level inverter.

**Keywords:** Battery, Inverter, Rapid Charge / Discharge

## 1. 서론

리튬 배터리는 방수, 방염, 방진 기술이 발달함에 따라 선박에 많이 사용하고 있다. 리튬 배터리는 납축전지에 비해 수명이 비교적 길고 충·방전 사이클에 강하며 자가 방전율이 낮다.

리튬 배터리는 친환경, 자율운항선박의 사양에 맞춰 고전압, 고전력의 방전부하를 구동하기 위해 전력변환기를 구성하고, 그 전단에 배터리 셀을 직, 병렬로 연결해서 사용하게 된다[1]-[3].

배터리에 접속된 전력변환시스템은 컨버터, 인버터 등이 있으며, 스위칭 작용에 의해 동작하기 때문에 출력전압 또

는 출력전압에 고조파가 포함된다. 직류를 교류로 변환하여 교류기기를 구동하는 인버터에는 고조파 저감을 위하여 많은 종류의 전압레벨이 정현파 형상에 보다 더 가깝게 출력되도록 스위칭동작을 구현한다. 인버터 입력전압이  $V_{DC}$  라 할 때 인버터 출력전압이 0,  $V_{DC}$ 의 2가지 레벨로 출력되는 경우와 0,  $1/2 V_{DC}$ ,  $V_{DC}$ 의 3가지 레벨로 출력되는 경우(이후 2-3레벨로 표기)가 있는데 전자를 2레벨, 후자를 3레벨 인버터로 표현한다. 2레벨 인버터는 0,  $V_{DC}$ , 0V, 0,  $-V_{DC}$ , 0V의 순으로 한 주기의 전압이 출력되고, 3레벨 인버터는 0,  $1/2 V_{DC}$ ,  $V_{DC}$ ,  $1/2 V_{DC}$ , 0, 0,  $-1/2 V_{DC}$ ,  $V_{DC}$ ,  $-1/2$

<sup>†</sup> Corresponding Author (ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2493-3916>): Professor, Division of Electrical and Electronics Engineering, Korea Maritime and Ocean University, 727, Taejong-ro, Yeongdo-gu, Busan 49112, Korea, E-mail: [sglee48@kmou.ac.kr](mailto:sglee48@kmou.ac.kr), Tel: 051-410-4821

1 M.S. candidate, Electrical and Electronics Engineering, Korea Maritime and Ocean University, E-mail: [ecl4891@naver.com](mailto:ecl4891@naver.com), Tel: 051-410-4891

2 Ph.D. candidate, Electrical and Electronics Engineering, Korea Maritime and Ocean University, E-mail: [saharian4@naver.com](mailto:saharian4@naver.com), Tel: 051-410-4891

3 Professor, Division of Electronics and Electrical Information Engineering, Korea Maritime and Ocean University, E-mail: [benkys@kmou.ac.kr](mailto:benkys@kmou.ac.kr), Tel: 051-410-4411

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

$V_{DC}$ , 0V의 순으로 한 주기의 전압이 출력된다[4].

배터리에 접속된 전력변환시스템, 즉 인버터의 레벨이 달라짐에 따라 부하 출력전류에는 고조파가 많이 포함되기 때문에 배터리의 수명에 영향을 줄 수 있다. 배터리의 수명은 배터리의 내부저항을 측정함으로써 파악이 가능하며, 주기적으로 이를 추적 관찰함으로써 수명을 포함한 배터리 상태를 관리할 필요가 있다.

본 논문에서는 여러 개의 셀로 직렬 구성된 리튬 폴리머 배터리의 수명을 파악하기 위해 CC(Constant Current)를 이용한 내부 저항 측정방법을 이용하고, 배터리 급속 충·방전 시 방전부 타입에 따른 비교를 위해 2레벨과 3레벨 두 가지 인버터를 제작하여 급속 충·방전 실험을 통해 수명을 추정하고 비교하였다.

## 2. 배터리 내부 파라미터

### 2.1 SOC(State of capacity)

1Ah의 용량의 배터리에 기준 1 C-rate(이후 C로 표기)는 1A가 되며 셀의 용량만큼의 전류량이다. 이는 충·방전 모두 적용이 되는 단위이며 제조사는 최대 충전전류와 최대 방전 전류를 A(Ampere) 또는 C-rate Ampere로 표시한다. 리튬 계열의 이차전지는 수회의 충·방전을 수행할 수 있으며, 충·방전에 따라 서로 다른 에너지 저장 상태를 가질 수 있다.

배터리의 저장된 에너지, 즉 용량(Capacity)이란 완전 충전 상태에서 완전 방전상태까지 일정한 전류로 방전했을 때 방전 전하의 총량으로 정의된다. 식 (1)은 전류 적산법(Coulomb Counting Method)이며 배터리의 현재 충전상태, 즉  $SOC_{bat}$ 를 나타낸 수식이다.  $SOC_{bat0}$ 는 배터리 초기 값과 측정된 전류를 적분한 값이다. 식의 후단은 측정되는 방전 전류를 적분한 값을 방전용량으로 나눈 식이다. 이 방법은  $SOC_{bat0}$  값이 설정되고 전류 측정 시 발생하는 오차가 없다는 조건이 있으면 SOC 정확도가 매우 높기에 배터리의 SOC 측정 중 가장 많이 사용이 된다[5][6].

$$SOC_{bat} = SOC_{bat0} - \frac{\int_0^t i_{bat} dt}{Q_{discharge}} \quad (1)$$

### 2.2 SOH(State of health)

SOH는 배터리의 사용 가능한 수명을 %로 나타낸 것을 의미한다. 배터리의 노화과정과 열화과정은 배터리 기술의 중요한 문제 중 하나이다. 배터리는 전기화학적 과정을 거쳐 전력을 저장, 전달하며 열화과정은 화학적, 외부 환경, 전기적 특성 등의 다양한 원인으로부터 영향을 받는다.

일반적으로 노화정도는 SOH를 통해 표시하지만, 이 값을 정확히 측정, 파악하는 것은 매우 어렵다. 배터리의 최대 사용가능한 용량은 SOH와 밀접하게 관련되어 있으며 최대 사용가능한 용량의 80%까지 감소하면 배터리는 사용

이 불가능한 상태로 판단한다. 또한 배터리는 충·방전을 반복하면서 성능이 감소하고 수명이 단축되며 불안정한 특성들이 나타난다[7].

Figure 1은 Randles의 배터리 등가회로이다. 배터리는 내부 저항  $R_1$ , 충·방전 전류에 의한 손실 저항  $R_2$  그리고 2중층의 커패시턴스 C로 구성된다.

배터리 단자 전압  $E_I = E_B - (V_{R1} + V_{R2})$ 이고, 접속하는 순간에는 커패시턴스 C에 의해  $V_{R2}$ 가 0이 되면서 단자 전압  $E_I$ 는  $R_1$ 만큼의 전압강하만큼 뿐  $E_I = E_B - V_{R1}$ 이 되어 내부 저항  $R_1 (= V_{R1}/I)$ 을 구할 수 있고, 배터리를 접속한 이후 변화된 전압  $V_{R2} (= E_B - E_I - V_{R1})$ 를 이용하여 내부 저항  $R_2 (= V_{R2}/I)$ 를 구한다.

C의 시간 상수로부터, C는  $C = \tau/R_2$ 에 의해 계산 될 수 있다. SOH 추정을 위해서 OCV를 이용하여 노후화로 인해 변화하는 임피던스를 기초로 배터리의 특성을 확인할 수 있다. 배터리의 SOH가 줄어들수록 내부 저항은 상승하고, 커패시턴스는 하락한다[8].

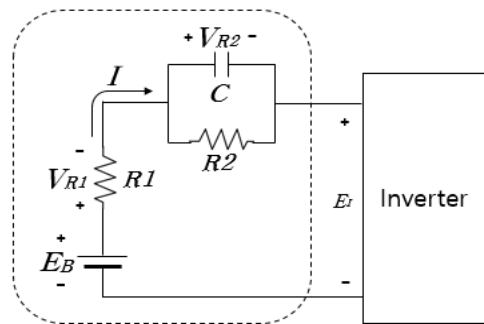


Figure 1: Randles model of battery

## 3. 실험 및 고찰

### 3.1 실험 장치 구성

Figure 2는 배터리의 급속 충·방전과 OCV를 측정하기 위해 제작한 블록도이다. 배터리부는 리튬 폴리머 배터리 6개를 직렬로 연결하여 DC 24V를 구성하고, 부하측은 두 가지 인버터를 제작하여 PMSM(24V) 모터를 구동하였다. 충·방전 교체방식은 각 셀로부터 검출된 배터리 전압 취합한 후 마이크로프로세서(ATmega128 controller)로 값을 전송하여 전자식 릴레이(S.S.R)을 통해 ON-OFF되는 방식으로 구성하였다.

두 가지 방전방식은 동일한 상온온도(15~25℃)와 배터리를 이용하고, 배터리의 값이 4.2V 되면 방전이 되도록 하고 3.0V가 되면 충전이 되도록 한다. 배터리 온도가 50℃ 이상 일 때는 부저가 울려서 차단되는 시스템을 구축하였다. 충·방전을 50회하고 충분한 시간이 지난 후 배터리의 수명을 추정하는 실험을 10회하여 총 500회 실험을 하여 배터리의 특성을 분석하였다.

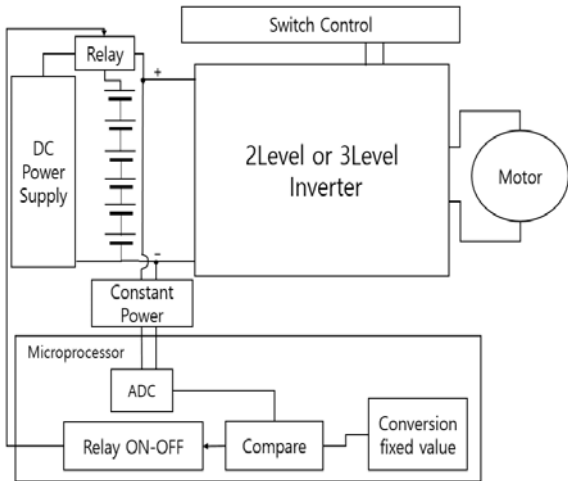


Figure 2: Block-diagram of System

Figure 3은 2-3레벨간의 급속 충·방전에 따른 배터리의 수명 특성을 분석하기 위한 실험 장치이며, 배터리 셀 6개를 직렬로 연결하고 마이크로프로세서에서 배터리의 전압에 따라 충·방전을 수행한다. 급속 충·방전 용량은 2C로 일정하게 하고 부하 인버터로 2-3 레벨 두 가지를 실험하였다. 수회의 인버터에 의한 방전 실험이 종료된 후에 배터리 수명을 추정하기 위해 내부 저항을 측정하고, 배터리 열화 현상을 보기위해 외관을 열화상 카메라로 관찰한다.

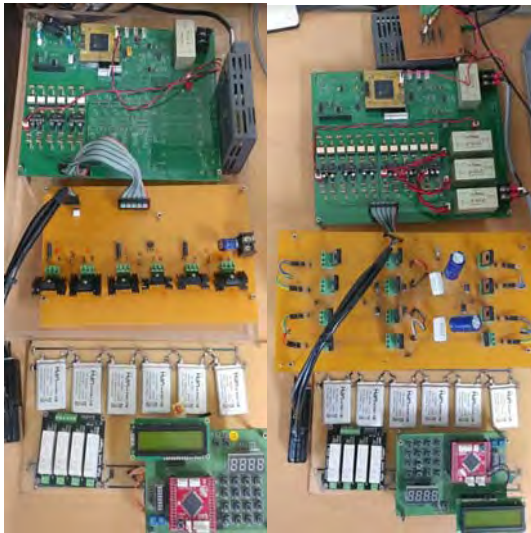


Figure 3: Experimental device (2-3 Level)

배터리 충전은 CC(Constant Current)/CV(Constant Voltage)로 한다. CC/CV는 처음에는 정 전류로 충전하며 전압이 최대 충전 전압에 다다르면 정 전압으로 충전하는 방식이다. 배터리 내부 저항을 측정하기 위해 방전방식은 CC방전을 사용하며 이 방식은 배터리에서 전류를 일정하게 방전하여 그때 변화하는 내부임피던스를 통해 수명을 예측할 수 있다.

Figure 4는 실험에 사용한 리튬 폴리머 배터리의 외관이며, 그 사양은 Table 1과 같다.



Figure 4: Lithium polymer battery

Table 1: Specifications of lithium polymer battery

Nominal Voltage	3.7V
Nominal capacity	500mAh
Charge cut-off voltage	4.2V
Discharge cut-off voltage	3.0V
SOH 100%	0.1Ω
SOH 0%	0.25Ω
Max. Charge current	20C
Max. Discharge current	20C

### 3.2 방전방식에 따른 배터리 특성 비교

2-3 레벨 인버터의 두 가지 방전방식을 이용하여 실험한 배터리의 수명상태를 추정하기 위해 CC방전 후 OCV 방식을 이용하여 전압을 측정하여 계산한 내부 임피던스 값으로 배터리의 특성을 비교하였다.

Figure 5은 배터리를 충·방전 50회 마다 CC방식으로 5분간 방전하여 방전을 끝내기 직전과 끝낸 직후에 측정된 내부 전압을 이용하여 내부 저항  $R_1$  값을 계산하여 10회 측정된 결과를 표현한 그래프이다. Table 2은 초기 저항 값과 500회 실험한 후의 최종 저항 값을 토대로 적은 표이다.

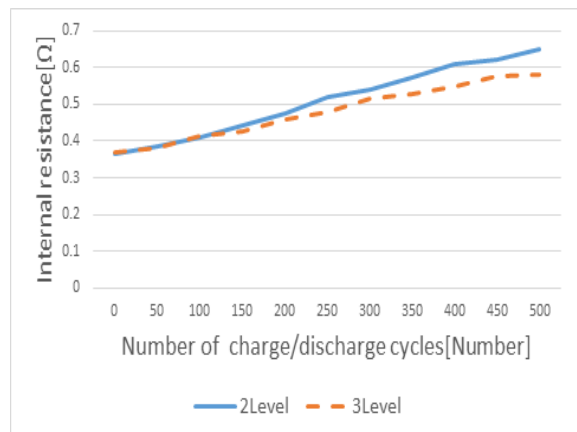
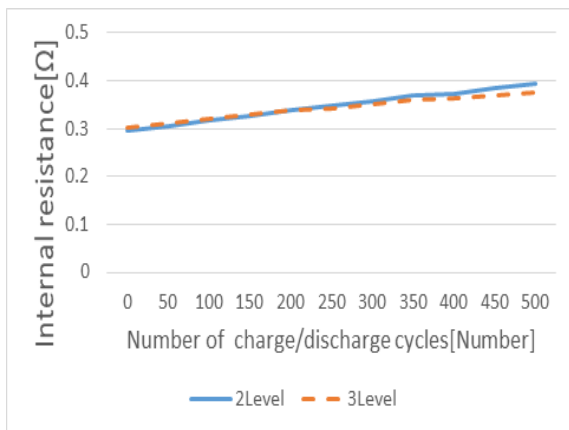


Figure 5: Comparison of internal resistor values between 2-3 Level( $R_1$ )

**Table 2:** Comparison of internal resistor values( $R_1$ )

Items	2Level	3Level
Initial internal resistance	0.3644 $\Omega$	0.3715 $\Omega$
Internal resistance value after 500 tests	0.6482 $\Omega$	0.5822 $\Omega$
Increased value of internal resistance	0.2838 $\Omega$	0.2107 $\Omega$
Internal resistance increase ratio	43.78%	36.19%

Figure 6은 배터리 초기 저항 값과 50회 급속 충·방전 후의 CC방식으로 방전을 5분간 한 후 측정된 내부전압과 방전을 정지하여 5분간 방치한 후 배터리의 전압이 돌아올 때의 내부전압을 10회 측정하여 계산한 내부 저항  $R_2$  값을 표현한 그래프이다. Table 3은 배터리의 초기 저항 값과 500회 실험이후의 최종 저항 값을 계산한 표이다.



**Figure 6:** Comparison of internal resistor values between 2-3Level ( $R_2$ )

**Table 3:** Lifetime change according to Inverter level after discharges ( $R_2$ )

Items	2Level	3Level
Initial internal resistance	0.2954 $\Omega$	0.3005 $\Omega$
Internal resistance after discharging of 500 times	0.3933 $\Omega$	0.3746 $\Omega$
Increased value of internal resistance	0.0979 $\Omega$	0.0741 $\Omega$
Internal resistance increase ratio	33%	24%

Table 4은 방전횟수에 따른 커패시턴스의 값을 비교 한 표이다. 방전횟수가 증가할수록 커패시터의 값이 낮아짐에 따라 SOH가 낮아지는 것으로 추정할 수 있다.

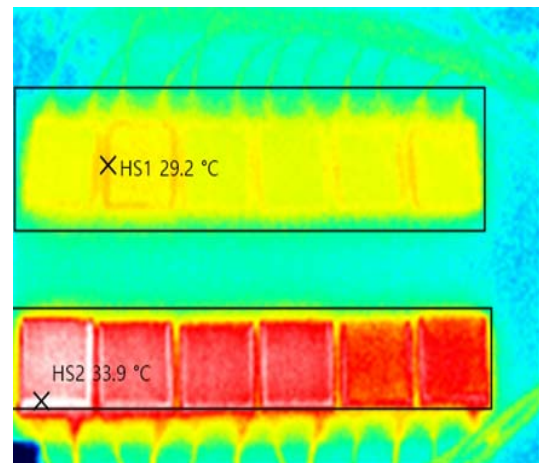
방전방식에 따라 환산한 배터리의 내부 임피던스를 통해 2 레벨 방전이 3 레벨 방전보다 방전횟수가 늘어남에 따라 커패시턴스 감소폭이 크다는 것을 알 수 있다. 따라서 방전 방식에 따라 배터리 라이프 사이클 횟수에 영향을 준다.

**Table 4:** Comparison of C according to the discharging number

Number of Charge /Discharge cycles	2Level	3Level
0	10155F	9982F
100	9487F	9389F
200	8873F	8837F
300	8414F	8547F
400	8038F	8267F
500	7627F	8007F

Figure 7는 2 레벨과 3 레벨로 동작시켰을 때의 외관을 열화상 카메라로 촬영한 것이다. 이는 전압 레벨의 따라서 배터리 내부 온도의 차이를 확인하기 위한 방법이다. HS1는 3 레벨, HS2는 2 레벨을 측정하는 것이다. 주변온도 20.7 $^{\circ}\text{C}$ 에서 촬영하였으며 100회 방전시켰을 때의 급속 방전 시 온도는 HS1 : 29.2 $^{\circ}\text{C}$  , HS2 : 33.9 $^{\circ}\text{C}$ 이다.

외관은 육안으로 판별할 수 있을 만큼 2 레벨로 동작시켰을 때 더 진한 색으로 나타나고 있다. 전압 레벨이 낮은 인버터를 사용하여 방전할 때 배터리의 측정된 온도가 더 많이 높은 것을 알 수 있다. 이는 결국 배터리의 열화작용에 의해서 수명을 단축시키는 결과를 초래하는 것으로 판단된다.



**Figure 7:** Surface temperature taken with an infrared camera

#### 4. 결 론

본 논문에서는 급속 충·방전시 다른 타입의 방전방식을 통해 배터리의 수명 특성을 관찰하기 위해 2 레벨과 3 레벨 인버터를 제작하고, 배터리에서 충·방전되는 전압레벨에 따라 배터리의 수명 및 온도 차이를 관찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 배터리의 수명을 추정할 수 있는 파라미터인 내부 임피던스 중 2레벨과 3레벨의  $R_1$ 의 증가량의 차이는 7.59%이다. 전압 레벨이 낮은 경우보다 높은 경우에  $R_1$  상승

률은 적다. 충·방전 전류에 의한 손실  $R_2$  증가량의 차이는 8.4%이다. 이 또한 전압 레벨이 낮은 경우보다 높은 경우  $R_2$ 의 상승률은 적다.

- (2) 배터리의 수명을 추정할 수 있는 커패시턴스를 방전횟수에 따른 비교 하였을 때 2레벨과 3레벨의 커패시턴스 감소량의 차이는 5.1%이다. 전압 레벨이 낮은 경우보다 높은 경우에 커패시턴스의 감소량이 적다. 즉, SOH 감소량이 적다는 것을 의미한다.
- (3) 동일한 전력으로 방전하였을 때 열화상 카메라로 외관을 촬영한 결과 부하 인버터 전압레벨이 낮은 경우가 약 4.7°C 더 높은 것으로 나타났으며, 방전 횟수를 더 많이 진행할수록 온도 차이는 더욱 벌어졌다.
- (4) 본 실험을 통해 서론에서 언급한대로 2-3레벨의 고조파 함유율의 차이로 인해 배터리의 수명이 달라짐을 확인할 수 있었으며, 향후 멀티레벨 인버터에 대한 깊은 배터리 수명 연구가 진행되어야 할 것으로 사료된다.

## 후 기

본 과제는 교육부와 한국연구재단의 재원으로 지원을 받아 수행된 사회맞춤형 산학협력 선도대학(LINC+)육성사업의 연구결과입니다.

## References

- [1] H. J. Kwon, A Study of Remote Management System of Lithium Ion Battery for Ship based on BLE, M.S. Dissertation, Department of Electrical and Electronics Engineering, Korea Maritime and Ocean University, Korea, 2015 (in Korean).
- [2] Research Center of Meritz, Reignition of Growth Engine with Midium and Large Scale 2nd Battery ESS, Nov. 2011 (in Korean).
- [3] J. W. Ko, G. S. Ko, and Y. C. Park, "A study on battery performance of a motor driven local transportation vehicle," Journal of the Korean Society of Marine Engineering, vol. 36, no. 4 pp. 430-436, 2012 (in Korean).
- [4] B. Wu, High-Power Converters and AC Drives, Willy inter Science, pp. 95-157, 2006.
- [5] J. H. Park, W. C. Cha, U. R. Cho, and J. C. Kim, "State of charge estimation of Li-Ion battery based on CIM and OCV using extended Kalman filter," Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers, vol. 28, no. 11, pp. 77-83, 2014 (in Korean).
- [6] Y. M. Jung, An Enhanced OCV Reset Algorithm to Improve the Coulomb Counting Method of Li-Polymer

Battery for xEVs, M.S. Dissertation, Department of College of Information & Communication Engineering, Sungkyungwan University, Korea, 2015 (in Korean).

- [7] D. Y. No, H. I. Sung, and J. Y. Yoo, "A study on the SOH estimation method of lithium ion batteries using OCV," 2010 Power electronics annual conference, pp. 269-270, 2010 (in Korean).
- [8] A. Tanaami and M. Morimoto, "On-line estimation of SOH for lead-acid battery," 2009 International Conference on Power Electronics and Drive Systems (PEDS), 2009.