Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers (2010) 24(12) : 84~90
DOI : 10.5207/JIEIE.2010.24.12.084

논문 24-12-12

# 간략화된 배터리 모델이 적용된 IUIa 충전 방식의 에너지 저장장치의 PSCAD/EMTDC 시뮬레이션 모델에 관한 연구

## (A Study on the PSCAD/EMTDC Simulation Model of Battery Energy Storage with Simplified Battery Model and IUIa Charging Method)

김성현* · 이계병 · 홍준희 · 손광명**
(Sung-Hyun Kim · Kye-Byung Lee · Jun-Hee Hong · Kwang-Myung Son)

## Abstract

In order to level electric power of the photovoltaic and wind-turbine system and ensure fast response of the fuel-cell and micro-turbine, the energy storage is required in the microgrid system. In this paper, a simplified simulation model of the battery energy storage for charging method with IUIa is developed using PSCAD/EMTDC. The model consists of e.m.f.(electromotive force), internal resistor and overvoltage capacitor. A method for deciding parameters of the model on a case-by-case basis is proposed. The developed model can be used in the simulation of a complicated system such as a microgrid system.

Key Words : Battery Energy Storage, Battery Model, Microgrid, PSCAD/EMTDC

## 1. 서 론

스마트그리드는 기존의 전력망에 IT기술이 접목되어 소비자들이 신재생에너지의 전원장치 등을 이용하여 참여할 수 있는 전력망이고, 마이크로그리드 기반으로 발전해 나갈 것으로 전망된다. 마이크로그리드는 여러 수용가의 부하 및 신재생에너지를 채용한 소규모 마이크로전원(micro-source)들이 하나의 덩어리를 이루는 분산된 전력망이다[1-2].

신재생에너지원 중, 태양광과 풍력 발전은 자연 조건에 의존적이며, 연료전지와 마이크로터빈은 갑작스런 부하 증가에 대해 느린 응답 특성을 가지기 때문에, 태양광과 풍력 발전의 출력 변동을 잡아주고, 연료전지와 마이크로터빈발전의 빠른 응답을 보장하기 위해서 배터리와 같은 에너지 저장장치가 필요하다[3].

배터리에서는 유지보수 비용을 절감시키고 높은 신뢰도를 보장하기 위해서 수명 관리가 가장 중요하며, 배터리는 어떻게 충전 및 방전하는 지에 따라 그 수명이 달라진다[4]. 배터리가 사용되는 시점이 대부분 비상 상태임을 고려하면, 배터리의 수명은 충전 방식에 많은 영향을 받는다고 할 수 있다. 납축전지(Lead-Acid Battery)의 IUIa 충전 방식은 충전의 마지막 단

* 주저자 : 세계화학공업(주) 부설연구소 연구원
* 교신저자 : 동의대학교 전기공학과 교수
Tel : 051-890-1671, Fax : 051-890-1664
E-mail : kmson@deu.ac.kr
접수일자 : 2010년 2월 18일, 1차심사 : 2010년 2월 22일
2차심사 : 2010년 4월 27일, 3차심사 : 2010년 7월 8일
심사완료 : 2010년 11월 12일

계에서 작은 전류로 균등충전을 하여 충·방전시 셀 또는 배터리 간의 전해액 농도차이에 의해 발생하는 전압 불균형 문제를 해소시켜 수명 향상 효과를 가져다준다.

납축전지의 모델에는 단순히 저항과 내부기전력으로만 구성되는 간단한 모델과 SOC(State Of Charge)가 고려된 복잡한 동특성 모델 등이 있다[5-6]. 간단한 배터리 모델은 SOC와 전해액 농도 등에 상관없이 내부임피던스의 값이 일정하여 단시간의 시뮬레이션에만 이용될 수 있고, 복잡한 동특성 모델은 배터리의 비선형 특성을 SOC, 주변온도, 전해액 온도, 전해액 농도로 나타내어 장시간 시뮬레이션에 이용될 수 있다. 그러나 복잡한 동특성 모델은 다수의 전원장치를 포함하는 마이크로그리드의 시뮬레이션 복잡도를 증가시키고, 파라미터 또한 쉽게 추정할 수 없다. 특히 짧은 시간 동안의 과도적 상태를 모의할 수 있는 PSCAD/EMTDC에서 복잡한 동특성 모델은 연산 시간을 증가시켜 그 결과의 신뢰도를 보장할 수 없을 것이다.

본 논문에서는 마이크로그리드 규모의 시뮬레이션에서 배터리 에너지 저장장치의 IUIa 충전 방식을 모의할 수 있는 간략화된 배터리의 시뮬레이션 모델을 PSCAD/EMTDC 기반에서 개발하였다. 개발된 배터리 시뮬레이션 모델은 내부 기전력, 내부저항, 과전압 커패시터(overvoltage capacitor)로 구성된다. 내부 기전력은 방전종지전압으로 설정하지 않고, 모드 전환시의 과도 상태 분석을 위해 모드 전환 이전 특정 시점의 값으로 설정되며, 내부저항은 상용 제품인 'VGS 200' 배터리의 내부저항 값을 이용하였다. 과전압 커패시터의 용량은 정전류 충전에서 배터리 전압이 선형적으로 증가되는 실험적 결과로부터 배터리 전압 상승을 선형화하여 커패시터의 전압과 전류의 관계식으로부터 산출된다.

본 논문에서 개발된 배터리 모델의 시뮬레이션 결과에서 충전에 따른 각 구간의 원활한 모드 전환을 확인하였고, 간략화된 배터리 모델이 IUIa 충전 방식을 모의하기 위한 PSCAD/EMTDC 시뮬레이션에 유용하게 이용될 수 있음을 보였다.

본 논문에서 개발된 배터리 모델은 마이크로그리드와 같이 복잡한 시뮬레이션을 보다 수월하게 진행할 수 있도록 도와줄 것이며, 시뮬레이션 결과의 신뢰도 향상과 시간 절약의 이점이 있어 마이크로그리드와 같은 시스템의 설계단계에서 유용하게 이용될 수 있을 것이다.

## 2. 납축전지 및 충전 방식

### 2.1 납축전지 원리

납축전지(Lead-Acid Battery)는 화학 반응에 의해 전기를 발생시키고, 화학반응은 화학에너지를 전기에너지로 만드는 방전(discharge)과 전기에너지를 화학에너지로 만드는 충전(charge)으로 나누어진다. 납축전지에서의 화학 반응식은 식 (1)과 같다[4].

$$\underset{+}{PbO_2} + 2\underset{\text{전해액}}{H_2SO_4} + \underset{-}{Pb} \underset{\text{충전}}{\overset{\text{방전}}{\rightleftharpoons}} \underset{+}{PbSO_4} + 2\underset{\text{전해액}}{H_2O} + \underset{-}{PbSO_4} \quad (1)$$

식 (1)의 좌변에서 양극은 산화제인 과산화연($PbO_2$)이고, 음극은 환원제인 연(Pb)이다. 방전이 일어나면서 황산연($PbSO_4$)와 물($H_2O$)이 생성된다.

### 2.2 IUIa 충전 방식

현재 일반화된 납축전지의 충전 방식은 가격이 저렴하고 효율이 크게 떨어지는 누설식 충전 방식과 I(정전류)-U(정전압) 충전 방식이 주로 사용되고 있다.

누설식 충전 방식은 변압기의 누설리액턴스의 전압강하를 이용하여 충전 초기 전류를 제한하고 충전 말기까지 자연히 전압이 상승되어 충전을 완료하는 방식이다.

IUIa 충전 방식은 I(정전류)-U(정전압) 방식에서 Ia(정전류-자동정지)구간이 추가된 방식이다[7]. I(정전류) 구간은 배터리 에너지 저장장치로 주입되는 충전 전류를 일정하게 제어하는 구간으로 주입된 충전 전류만큼 배터리의 충전 전압은 상승하게 된다. U(정전압) 구간은 I(정전류)구간의 충전을 완료한 후 배터리의 충전 전압을 일정하게 유지하면서 충전한다. Ia(정전류-자동정지) 구간은 충전의 마지막 구간으로서 작은 전

류로 충전하고, 충전 종료 조건이 발생하면 충전을 종료하게 된다. 이 구간에서 균등 충전을 하게 되는데, 이 구간을 통해서 충·방전시 셀 또는 배터리 간의 전해액 농도 차에 의한 전압 불균형 문제를 해결할 수 있다.

2.2.1 IUIa 충전 방식의 제어 파라미터

표 1에 DIN(Deutsches Institut für Normung) 41773-1 규격[8]에서 제공되는 IUIa 충전 방식의 제어 파라미터를 나타내었다. 전류 제어 파라미터에서의 C는 배터리의 공칭 용량을 말하는 것으로써 충전 또는 방전 전류의 크기, 즉 충전율 또는 방전율을 표현할 때 사용된다.

표 1. IUIa 충전 방식의 제어 파라미터[8]
Table 1. Control Parameters of IUIa Charging Method[8]

| 구분 | I (정전류) | U (정전압) | Ia (정전류-자동정지) |
|---|---|---|---|
| DIN 41773 | 0.14C[A] | 2.35 [V/Cell] | 0.014C[A] |

2.2.2 IUIa 충전 방식 흐름도

그림 1에 DIN 41773 규격에 기준한 납축전지의 IUIa 충전 방식 흐름도를 나타내었다. 충전이 시작되면, 전체 충전 구간에서 배터리 단자전압에 따른 충전 구간이 결정된다. 배터리 단자전압이 정전압 설정치 전압보다 낮으면 I 구간으로 진입하여 충전을 시작한다. 이때 전류의 설정치 값은 0.14C[A]이다. 배터리 단자전압이 U 구간 설정치 전압인 2.35[V/Cell]가 되면, U 구간으로 진입하여 정전압 충전을 하게 된다. 이 때 배터리 충전 전류는 배터리가 충전됨에 따라 감소하게 된다. 충전 전류가 Ia 구간 전류 설정치인 0.014C[A]가 되면, Ia 구간으로 진입하여 정전류 충전을 하게 된다.

충전 종료 조건은 4시간 동안 Ia 충전을 완료하는 것이 일반적으로 잘 알려진 방식이고, 또한 Ia 충전 중 전압의 기울기가 변하지 않거나 음수가 되는 방식[4]이 주로 이용되고 있다.

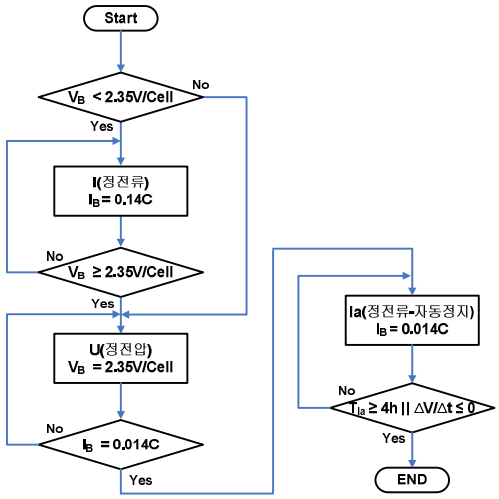


그림 1. IUIa 충전 방식 흐름도
Fig. 1. Flow chart of IUIa charging method

## 3. 납축전지 모델링

### 3.1 간략화된 배터리 모델

정전류 충전의 실험 결과에서는 배터리의 단자전압이 거의 선형적으로 증가되는 것을 확인할 수 있다[9]. 이에 따라 본 논문에서는 전류가 일정한 구간에서 배터리의 단자전압은 선형적으로 증가한다고 가정하여 간략화된 배터리 모델을 제시한다. 그림 2에 간략화된 배터리 모델을 나타내었다. 여기서 $R_b$는 배터리 내부저항, $C$는 과전압 커패시터(overvoltage capacitor), $V_B$는 배터리 단자전압, $E$는 배터리 내부 기전력이다.

### 3.2 간략화된 배터리 모델의 파라미터 선정

그림 3에 간략화된 배터리 모델의 IUIa 충전 그래프를 나타내었다. 그림 3에서 배터리 내부저항의 크기와 내부 기전력의 크기는 일정하다.

배터리 단자전압($V_B$)은 배터리 내부 기전력($E$), 내부저항에 의한 전압강하의 크기($V_{Rb}$), 커패시터 전압($V_C$)의 합으로 나타난다. 내부저항에 의한 전압강하가 일정하여 배터리 단자전압은 선형적으로 증가하게 된다. U 구간으로 진입 후, 충전 전류($I_B$)는 배터리가 충전됨에 따라 감소되며, 배터리 내부저항에 의한 전

압강하도 작아진다. 작아진 전압강하의 크기만큼 커패시터 전압은 상승하며 정전압으로 충전하고 있으므로 배터리 단자전압은 일정하다. 충전 전류가 감소하여 Ia 구간으로 진입하면 정전류 충전을 하게 되고 배터리 단자전압은 다시 선형적으로 증가하게 된다.

그림 3의 간략화된 배터리 모델의 충전 그래프에서 커패시터 용량은 식 (2)로부터 구할 수 있다.

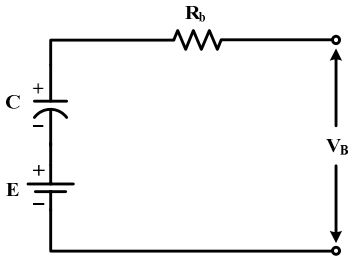


그림 2. 간략화된 배터리 모델
Fig. 2. Reduced battery model

$$v_c = \frac{1}{C}\int idt \tag{2}$$

I 구간에서 충전 전류는 일정하므로 식 (2)는 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\Delta v_c = \frac{1}{C} I\Delta t \tag{3}$$

식 (3)에서 $\Delta v_C = v_{Ct_2} - v_{Ct_1}$로 표현하면 커패시터 용량 $C$는 식 (4)와 같다.

$$C = \frac{I\Delta t}{v_{Ct_2} - v_{Ct_1}} \tag{4}$$

여기서 $\Delta t = t_2 - t_1$이다.

본 논문의 사례연구에서 이용될 배터리 모델의 파라미터는 충전모드의 전환 시점을 관찰하기 위해서, 200[Ah]용량의 배터리를 기준으로 0.14C(28[A])의 전류로 충전시 10초 동안 배터리 단자전압이 2[V] 상승한다고 가정하여 커패시터 용량이 $C = 140$[F]과 같이 선정되었다.

배터리 내부저항 $R_b$는 상용 제품인 'VGS 200' 배터리의 데이터를 이용하였고, 내부 기전력 $E$는 모드 전환이 일어나기 전 특정 시점의 값으로 선정한다.

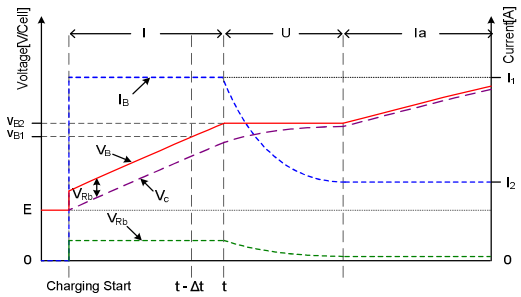


그림 3. 간략화된 배터리 모델의 IUIa 충전 그래프
Fig. 3. IUIa charging graph of reduced battery model

### 3.3 배터리 뱅크의 구성

배터리 뱅크는 충방전을 위한 전압원형 인버터의 DC-link 전압을 기준으로 구성된다. 인버터의 SVPWM(Space Vector Pulse Width Modulation) 변조 방식을 고려하고, 스위칭 소자의 손실을 고려한 계수(a=1.1)와 전력 제어를 위한 여유 계수(b=1.1)를 고려하여 인버터의 정격 선간전압을 380[V]로 하기 위한 DC-link 전압을 구하면 식 (5)와 같다.

$$V_{dc} = V_{ab} \times \sqrt{2} \times a \times b = 650.26[\mathrm{V}] \tag{5}$$

배터리 에너지 저장장치는 Cycle 수명을 고려하여 보통 DOD(Depth Of Discharge) 50[%] 정도까지 운전하는 것이 일반적이다. 필요시에는 DOD 50[%] 이하에서도 배터리가 출력하여 DC-link 전압을 일정하게 유지시켜야 할 것이다. 그러나 배터리의 직렬 구성은 배터리의 방전종지전압에서도 DC-link 전압을 유지시킬 수 있어야 한다. 여기서 방전종지전압은 방전을 중지해야하는 한계 전압을 말하며 방전종지전압 이하로 방전을 하게 되면 배터리 수명에 악영향을 미치게 된다. 또한 방전종지전압은 방전 시간율에 따라 달라진다. 식 (5)의 DC-link 전압을 만족시키기 위해서는 단위 배터리의 1시간율에 대한 방전종지전압(1.67[V])을 고려하여 390개의 단위 배터리가 요구된다. 여기서 시간율이란 방전전류의 크기를 말하는 것으로 1시간율은 특정 전류로 방전시 방전종지전압까지 도달하는데 1시간이 걸린다는 것을 의미한다.

## 4. 개발된 시뮬레이션 모델

### 4.1 PCS(Power Conditioning System) 모델링

그림 4에 에너지 저장장치 모델의 계통연계 블록도를 나타내었다. DC/DC 컨버터의 전력 전달 용량의 한계[10]를 고려하여 본 논문에서는 배터리 뱅크 측과 인버터 사이에 DC/DC 컨버터가 없는 구조를 채택하였다. 전압원형 인버터의 변조방식으로는 주어진 DC-link 전압에서 가장 큰 교류 전압을 얻을 수 있는 SVPWM(Space Vector Pulse Width Modulation)을 적용하였고, 인버터 출력단에는 LCL 필터가 적용된다.

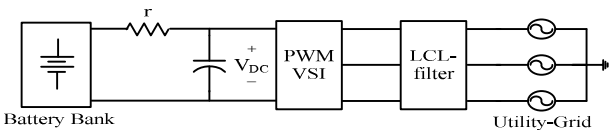


그림 4. 에너지 저장장치 모델의 계통연계 블록도
Fig. 4. Grid-interfacing block diagram for the energy storage model

### 4.2 제어 시스템

그림 5에 IUIa 충전 방식의 PSCAD/EMTDC 시뮬레이션을 위한 제어기를 나타내었다. 그림 5에서 상부는 DC-link 전압 설정치를 만들어내기 위한 전류, 전압 제어기이고, 하부는 DC-link 전압 제어기이다. 그림 6의 충전 모드 선택 컴포넌트에 의해 모드가 선택되면 전류 제어기 또는 전압 제어기에서 설정치를 만들어내고 DC-link 전압 제어기는 이 설정치를 이용하여 DC-link 전압을 제어함으로써 배터리 에너지 저장장치의 충방전 전류와 단자 전압을 제어한다. 표 2에 그림 5의 각 PI 제어기의 파라미터를 나타내었다. 각 파라미터는 try & error 방식으로 구한 것이다. 먼저 P gain을 '0'으로 한 후 시스템의 응답시간을 결정하는 I gain 값만을 조정하여 적절한 오버슈트(overshoot), 정착시간(settling time) 등을 갖게 설정하고, 마지막으로 P gain 값을 조정하여 오버슈트를 억제하면서 최대한 빠른 정착시간을 가지도록 설정하였다.

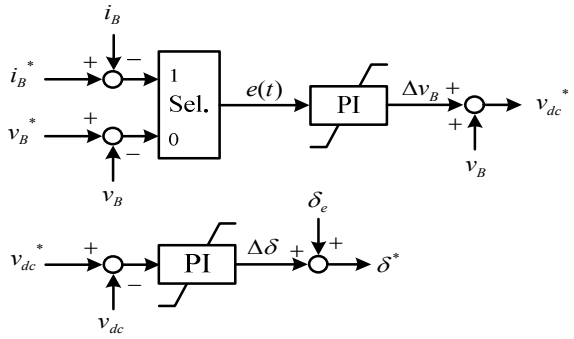


그림 5. IUIa 충전 방식의 제어기
Fig. 5. Control system of IUIa charging method

그림 6에 IUIa 충전 모드 선택 컴포넌트를 나타내었다. 충전 모드 선택 컴포넌트는 배터리 전압과 전류, 각 구간으로 전환되는 한계 값을 입력 받아서 충전시 각 모드를 결정하게 된다.

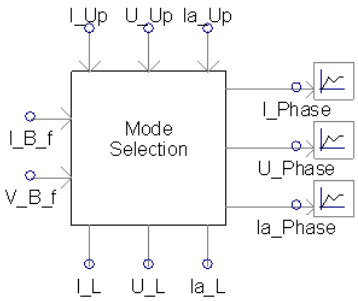


그림 6. 충전 모드 선택 컴포넌트
Fig. 6. Component for charging mode selection

표 2. PI 제어기의 파라미터
Table 2. Parameters of PI Controllers

| 제어기 | P gain | I gain |
|---|---|---|
| 전류, 전압 제어기 | 3 | 0.3 |
| DC-link 전압 제어기 | 2 | 0.08 |

## 5. 개발된 시뮬레이션 모델

### 5.1 IU 구간 모드 전환시의 출력 파형

그림 7에 IU 구간 모드 전환시의 배터리 전압과 전류를 나타내었다. I(정전류) 구간에서 설정치 전류인 28[A]로 정전류 제어를 하고 있는 도중에 U(정전압)

구간 진입 조건을 만족시키게 되어 I 구간에서 U 구간으로 모드 전환이 일어난다. 모드 전환이 일어나면서 설정치 전압인 916.5[V]로 정전압 제어를 하게 되고 이 때 전류는 감소한다.

### 5.2 UIa 구간 모드 전환시의 출력 파형

그림 8에 UIa 구간 모드 전환시의 배터리 전압과 전류를 나타내었다. U(정전압) 구간에서 설정치 전압인 916.5[V]로 정전압 제어를 하고 있는 도중에 Ia(정전류-자동정지) 구간 진입 조건을 만족시키게 되어 U 구간에서 Ia 구간으로 모드 전환이 일어난다. 모드 전환이 일어나면서 설정치 전류인 2.8[A]로 정전류 제어를 하게 되고 배터리 전압은 다시 증가한다.

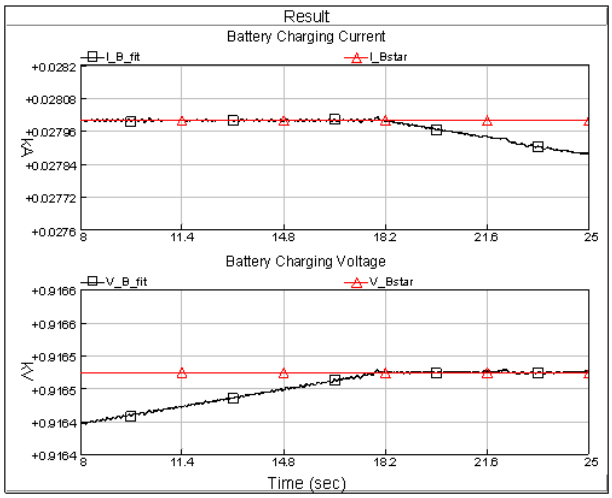


그림 7. IU 구간에서의 배터리 전압과 전류
Fig. 7. Battery voltage and current during IU phase

표 3에 배터리 에너지 저장장치 시뮬레이션 모델에서의 파라미터를 나타내었다[11]. 배터리 단자와 인버터 사이의 선로 저항인 $r$은 25[SQ]의 CV 케이블 69.195[m]를 기준하여 산출하였다. 표 3에서 LCL 필터의 파라미터는 LC 필터와 계통연계 인덕터 L로 구분하여 설계하였다. LC 필터의 파라미터는 PCS의 스위칭 주파수와 LC 필터의 차단(cut-off) 주파수를 고려하여 기본 설계하고, 시뮬레이션을 통한 try-and-error 방식으로 선정하였다. LC 필터의 차단 주파수는 2.25[kHz]이며, PCS의 스위칭 주파수는 5[kHz]이다. 계통연계 인덕터 L의 파라미터는 PCS의 정격용량 등을 고려하여 선정하였다. 계통연계 인덕터 L의 설계 방법은 [12]에서 제공되고, 본 논문에서는 해당 설계방법을 그대로 이용하였다.

## 6. 결 론

본 논문에서는 IUIa 충전 방식을 모의할 수 있는 간략화된 배터리 에너지 저장장치의 PSCAD/EMTDC 시뮬레이션 모델을 개발하였다. 간략화된 배터리 에너지 저장장치 모델의 파라미터는 커패시터 전압 상승의 선형화, 모드 전환을 위한 내부기전력 설정, 상용 배터리의 내부저항 데이터 참고를 통해 선정되었다. 시뮬레이션 결과를 통해 본 논문에서 제시하는 간략화된 배터리 모델의 효용성을 확인하였다.

본 논문에서 개발된 배터리 에너지 저장장치의 시뮬레이션 모델은 마이크로그리드와 같이 다수의 전원장치를 포함할 수 있는 빌딩 규모의 전력 시스템 설계단계에서 유용하게 이용될 수 있을 것이다.

표 3. 배터리 에너지 저장장치 시뮬레이션 모델의 파라미터
Table 3. Parameters of battery energy storage simulation model

| 파라미터 | | 기호 | 값 |
|---|---|---|---|
| 인버터 정격 용량 | | $P_{max}$ | 100[kW] |
| 공칭 주파수 | | $w_0$ | 60[Hz] |
| 공칭 전압(L-L) | | $V_0$ | 380[V] |
| 스위칭 주파수 | | $f_{sw}$ | 10[kHz] |
| 과전압 커패시터 | | $C_b$ | 4561.086[F] |
| 배터리 내부저항 | | $R_b$ | 331.5[mΩ] |
| 선로 저항 | | $r$ | 64.134[mΩ] |
| DC-link 커패시터 | | $C_{dc}$ | 470,000[$\mu$F] |
| 필터 인덕터 | 인덕턴스 | $L_f$ | 0.1[mH] |
| | ESR | $R_{Lf}$ | 1.0[mΩ] |
| 필터 커패시터 | 커패시턴스 | $C_f$ | 50.0[$\mu$F] |
| | ESR | $R_{Cf}$ | 5.0[mΩ] |
| 계통 연계 인덕터 | 인덕턴스 | $L_u$ | 0.7[mH] |
| | ESR | $R_{Lu}$ | 7.0[mΩ] |

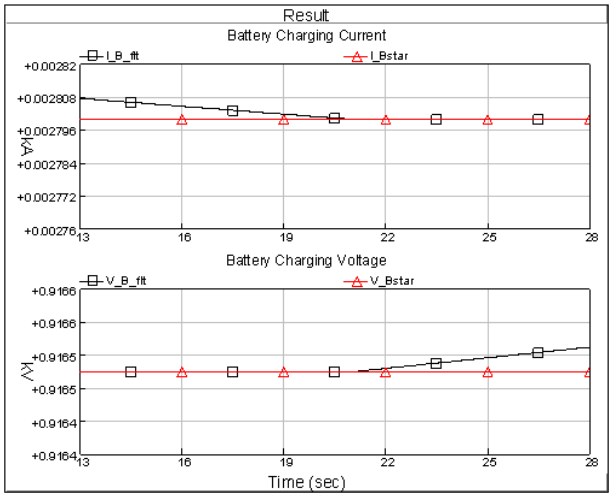


그림 8. Ula 구간에서의 배터리 전압과 전류
Fig. 8. Battery voltage and current during Ula phase

**감사의 글**

본 논문은 2010 학년도 동의대학교 교내연구비에 의해 연구되었음(과제번호 : 2010AA159).

## References

〔1〕 녹생성장위원회, "녹색성장 국가전략", ww.greengrowth.go.kr, 11-B552462-000002-01, 2009. 7.
〔2〕 R. H. Lasseter, P. Piagi, "Providing Premium Power through Distributed Resources", Proceedings of the 33rd Annual Hawaii International Conference on System Sciences, pp. 1437-1445, Jan. 4-7 2000.
〔3〕 Arthur D. Little, Inc., "Opportunities for Micropower and Fuel Cell/Gas Turbine Hybrid Systems in Industrial Applications", Final Report to Lockheed Martin Energy Research Corporation and the DOE Office of Industrial Technologies, Jan. 2000.
〔4〕 손영대, 고한범 역, "전지의 기초", 성안당, ISBN 89-315-2199-5, 2000.
〔5〕 Ziyad M. Salameh, Margaret A. Casacca, Wiliam A. Lynch, "A Mathematical Model for Lead-Acid Batteries", IEEE Transactions on Energy Conversions, Vol. 7, No. 1, pp. 93-97, 1992. 3.
〔6〕 Francisco M. González-Longatt, "Circuit Based Battery Models: A Review", 2DO CONGRESO IBEROAMERICANO DE ESTUDIANTES DE INGENIERÍA ELÉCTRICA(II CIBELEC), April. 2006.
〔7〕 ZVEI(German Electrical and Electronics Industry), "Charger assignments for traction batteries in vented(PzS) and in valve regulated(PzV) design", 2004. 4.
〔8〕 DIN 41773-1, "Static power convertors; semiconductor rectifier equipment with IU-characteristics for charging of lead-acid batteries", guidelines, 1979. 2.
〔9〕 Phillip E. Pascoe, Adnan H. Anbuky, "A VRLA battery simulation model", Energy Conversion and Management, Vol. 45, Issues 7-8, pp. 1015-1041, 2004. 5.
〔10〕 민병덕, 이종필, 김태진, 유동욱, "PV용 고압연계 대용량 PSC기술" 전력전자 학회지, 제11권, 제6호, pp. 46-49, 2006. 12.
〔11〕 Kyebyung Lee, Kwang. M. Son, "Smart Storage System for Seamless Transition of Customers with Intermittent Renewable Energy Sources into Microgrid", Proceedings of the International Telecommunications Energy Conference, Oct. 18-22, 2009.
〔12〕 손광명, 김영섭, "Micro-Source의 계통 연계용 인덕터 크기 선정에 관한연구", 한국조명전기설비학회 논문지, 19집, 6호, pp. 52-58, 2005. 9.

## ◇ 저자소개 ◇

**김성현**(金成顯)
1981년 11월 28일생. 2007년 동의대 전기공학과 졸업. 2010년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2010년~현재 세계화학공업(주) 부설연구소 연구원.

**이계병**(李桂秉)
1979년 12월 8일생. 2006년 동의대 전기공학과 졸업. 2008년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2008년~현재 고려대 대학원 전자전기공학과 박사과정.

**홍준희**(洪俊憙)
1963년 3월 1일생. 1987년 서울대 전기공학과 졸업. 1989년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1995년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1995년~현재 경원대 에너지IT학과 교수.

**손광명**(孫光明)
1966년 9월 6일생. 1989년 서울대 전기공학과 졸업. 1991년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1997년~현재 동의대 전기공학과 교수.