

# 마이크로그리드시스템의 분산 에너지관리시스템 설계를 위한 통합시뮬레이션 모델 개발

## Integrated Simulation Model for Designing Distributed Energy Management System in Microgrid System

조재훈\* · 박선홍\* · 이대종\* · 조영임\*\* · 전명근\*\*

Jae Hoon Cho, Sun Hong Park, Dae Jong Lee, Young Im Cho and Myung Geun Chun

\* 충북대학교 전자정보대학 제어로봇공학과 컴퓨터정보통신연구소

\*\* 수원대학교 IT대학 컴퓨터학과

### 요 약

본 논문에서는 신재생에너지를 포함하는 독립형 마이크로그리드시스템의 멀티에이전트시스템 기반의 분산에너지관리시스템 설계를 위한 통합시뮬레이션 모델을 제안한다. 멀티에이전트기반 분산에너지관리시스템은 일반적인 중앙에너지관리시스템에 비해 여러 장점들을 가지고 있으나 각 상태에 따른 설계가 비교적 복잡하여 기존의 전력시스템 도구를 이용하여 분산 에너지관리시스템을 설계하기에는 많은 어려운 점들이 있었다. 또한 설계된 에너지관리시스템을 실제 시스템에 적용하여 평가하는 것은 비능률적이기 때문에 효과적인 에너지관리시스템을 설계하기 위해서는 통합시뮬레이션 모델이 필요하다. 제안된 통합시뮬레이션 모델은 Matlab/Simpowersystem 기반의 마이크로그리드시스템의 시뮬레이션 모델과 이벤트기반의 알고리즘 설계에 많은 장점이 있는 Matlab/StateFlow를 이용하여 설계된 멀티에이전트기반의 분산에너지관리시스템으로 구성되었다. 통합시뮬레이션 모델의 효용성을 보이기 위하여 특정한 동작 조건들에서 제안된 모델의 출력들을 분석하였다.

**키워드** : 신재생에너지원, 멀티에이전트시스템(MAS), 하이브리드시스템, 에너지관리시스템(EMS)

### Abstract

In this paper, an integrated simulation model for designing multi-agent system based DEMS (distributed energy management system) in stand-alone micro-grid system is proposed. In the design of the EMS(energy management system), the multi-agent based DEMS are more effective than conventional centralized EMS, but it is difficult to design the DEMS by general design tools for power system because of various states of a microgrid system during operation of stand-alone mode. Also, since performance test of the DEMS using a real system is inefficient, an integrated simulation model is required for designing an effective multi-agent system based DEMS. The proposed model consists of Matlab/SimPowerSystems based simulation model of the microgrid system and the Multi-agent based DEMS designed by Matlab/StateFlow tool. In order to show the effect of the proposed model, the model outputs are analyzed for specified operation conditions.

**Key Words** : multi-agent system, stand-alone micro-grid system, energy management system

## 1. 서 론

최근 세계적으로 대두되고 있는 환경오염 및 에너지 문제를 해결하기 위한 방안으로 기존의 전력망에 IT기술을 융합한 스마트그리드(Smartgrid)가 제안되었으며, 그 실현을 위한 방안으로 신재생에너지를 기반으로 하는 소규모 전력망인 마이크로그리드 개념이 제안되어졌다[1].

마이크로그리드는 제어대상이나 목표에 따라 계통연계(grid connected) 또는 독립형(stand-alone)으로 구분될 수 있다. 특히 독립형 마이크로그리드 시스템인 경우 도서,산간 등 전력계통과의 연결이 어려운 지역이나 건물에서 독립적 발전원으로 이용될 수 있기 때문에 최근 많은 연구가 진행되어지고 있다[2]. 마이크로그리드가 계통과 연계되어 운전되는 경우는 부하의 변동에 크게 문제되지 않으나 단독으로 운전될 경우는 각 분산전원이 부하변동을 감지하여 각자 출력들을 변동시켜야 한다. 이런 복잡한 제어 구조와 에너지의 효율적 운용을 위하여 필요한 것이 에너지관리시스템(Energy Management System, EMS)이다. 그러나 기존의 대부분의 에너지관리시스템들은 중앙관리방식을 기반으로 구성되고 고장방지(fault tolerance)나 적응성(adaptability)과 같은 조건들을 크게 만족하지는 못하는 것들이 대부분이다. 특히 독립형 마이크로그리드에서는 DC-link전압을 담

접수일자 : 2010년 11월 21일

완료일자 : 2010년 12월 24일

\*본 논문은 본 학회 2010년도 추계 학술대회에서 선정된 우수논문입니다.

\*이 논문은 2010년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

+ 교신저자

당하는 컨버터들의 단순한 고장에 의한 순간적인 전체 시스템의 정지와 같은 문제들을 해결할 수 없다는 단점들을 가진다. 이러한 문제의 해결 방안으로서 데이터 관리의 효율성이 높고 분산처리가 가능한 멀티에이전트(Multi-agent system: MAS) 기반의 분산 에너지 관리시스템이 다양하게 제안되어지고 있으며 많은 선행 연구들이 진행되어 왔다[3]. 그러나 마이크로그리드를 위한 멀티에이전트는 정형화된 구조가 없어 멀티에이전트의 올바른 동작을 위해서는 목적에 맞는 멀티에이전트의 구조를 설계하여야 하고 실제 시스템에 적용하기 위해서 각 에이전트들 간의 데이터 통신의 신뢰성 평가 등이 선행되어야 한다. 또한 설계된 멀티에이전트 시스템을 실제 시스템에 직접 적용하여 성능평가를 하는 것은 시간 및 비용 등의 많은 문제점이 존재하기 때문에 효과적인 멀티에이전트 기반 에너지관리시스템을 설계하기 위해서는 적절한 통합 시뮬레이션 모델이 필요하다.

따라서, 본 논문에서는 신재생에너지원을 포함하는 독립형 마이크로그리드시스템에서의 효과적인 에너지관리시스템의 설계를 위한 통합시뮬레이션 모델을 제안하였다. 제안된 통합시뮬레이션 모델은 다양한 구성장치들의 동작특성을 평가하기 위하여 태양광, 연료전지, 수소탱크, 수전해장치(Electrolyzer), 축전지 및 울트라캐피터(UCB)를 포함하는 하이브리드 구조로 구성하였으며 각각의 구성장치들은 Matlab의 전력시스템 설계 도구인 SimPower Systems를 이용하여 설계하였다. 또한 멀티에이전트시스템의 구현을 위하여 Matlab에 포함된 이벤트 기반의 알고리즘 설계 툴인 StateFlow를 이용하여 구현하였으며[4], 제안된 모델의 성능을 평가하기 위하여 설계자에 의해 제한될 수 있는 특정한 조건들을 가정하여 각 구성장치들의 출력들을 평가하였다.

## 2. 하이브리드시스템의 구성요소 모델링

### 2.1 태양광 시스템

태양광시스템은 일반적으로 수학적 방법이 많이 이용될 수 있으나 본 논문에서는 시뮬레이션 시간과 데이터 저장의 효율성을 위하여 Matlab Toolbox에서 제공되는 2D Lookup 테이블과 SimPowerSystems에서 제공하는 전류제어 전압원(Controlled Current Source)을 이용하여 태양광 시스템을 모델링 하였다. 태양광 모델의 출력은 일사량(Irradiance)변화에 따른 태양광 시스템의 I-V값이 이용될 수 있으며 시뮬레이션을 위해서 2D Lookup 테이블에서는 데이터 보간법이 사용된다[5].

그림 1은 2D Lookup 테이블과 전류제어 전압원(Controlled Current Source)을 이용한 태양광시스템의 Simulink 모델이다. 2D Lookup 테이블의 입력은 일사량과 태양광시스템의 출력 전압이고 출력 전압은 초기 태양광시스템의 전류값  $I_{pv}$ 을 계산하기 위하여 초기 값을 가지는 시지연 전달함수를 통하여 피드백 되어 진다.

### 2.2 고분자연료전지(PEMFC) 모델링

일반적인 연료전지의 동적모델은 Nernst 모델과 활성화분극, 저항분극, 농도분극, 내부전류손실 등에 의한 전압강하와 전류밀도에 따라 출력전압이 비선형적으로 변화되는 특성을 반영해야한다. PEMFC에 대한 분극곡선은 Nernst 전압, 활성화분극  $\eta_{act}$ , 저항분극  $\eta_{ohmic}$ , 및 농도분극의 합

으로부터 얻을 수 있다. 분극은 전기적 관점에서 전압의 손실로 생각될 수 있고 이런 손실은 농도분극에 비해 활성화분극과 저항분극이 크기 때문에 농도분극을 생략한 모델들이 많이 사용된다. 정온도 및 일정 산소농도를 가정하면 PEMFC의 출력전압  $V_{cell}$ 은 활성화분극과 저항 분극이 아래의 식(1)과 식(2)로서 표현될 수 있다[6].

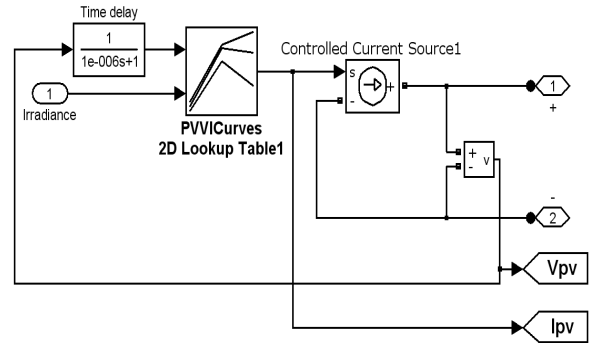


그림 1. 태양광 시스템의 Matlab Simulink 모델  
Fig. 1. Matlab simulink model for PV system

$$\eta_{act} = B \ln(CI_{FC}), \quad \eta_{ohmic} = R_{ohm} I_{FC} \quad (1)$$

$$V_{cell} = E - \eta_{act} - \eta_{ohmic} \quad (2)$$

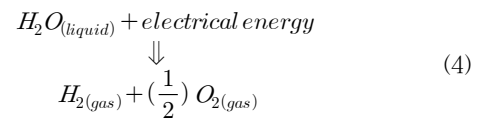
여기서,  $B, C$ 는 활성화 상수,  $R_{ohm}$ 는 내부저항,  $I_{FC}$ 는 PEMFC전류이다. 위 식에서 Nernst 순시전압  $E$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$E = N_o \left[ E_o + \frac{RT}{2F} \log \left( \frac{p_{H_2} \sqrt{p_{O_2}}}{p_{H_2O}} \right) \right] \quad (3)$$

여기서,  $R$ 은 기체상수,  $T$ 는 절대온도,  $F$ 는 패러데이 상수,  $p$ 는 압력,  $N_o$ 는 PEMFC의 셀(cell) 수를 나타낸다.

### 2.3 수전해시스템 모델(Electrolyzer Model)

본 연구에서는 PEMFC의 수소연료를 위해서 수전해장치를 이용하여 연료전지에 필요한 수소를 공급할 수 있는 시스템 모델을 고려하였다. 수전해될 사이에 분리된 두 전극 사이에 전기를 통과시키면 물은 수소와 산소 성분으로 분해된다. 수전해장치의 전기화학적 반응은 다음 식으로 주어진다[7].



수전해모델은 아래와 같은 파라메타를 가지고 있다.

$F$  : Faraday 상수 [C/kmol]

$i_e$  : 수전해장치 전류[A]

$n_c$  : 직렬로 연결된 수전해장치 셀의 수

$\eta_F$  : Faraday 효율

$n_{H_2}$  : 초당생산된 수소 몰[mol/s]

패러데이 법칙에 따라 수전해 셀의 수소생산  $\eta_{H_2}$ 는  $n_c$ 가

수전해셀의 직렬 연결 수,  $i_e$  가 수전해시스템의 전류라 할 때 다음과 같이 표현된다

$$n_{H_2} = \frac{\eta_F n_c i_e}{2F} \quad (5)$$

수전해장치의 실제와 이론적인 최대 생산량의 비율은 패러데이 효율이라 하며 수전해장치의 동작온도가 40℃일 때 패러데이 효율은 식(6) 나타낼 수 있다.

$$\eta_F = 96.5 e^{(0.09/i_e - 75.5/i_e^2)} \quad (6)$$

### 2.4 울트라캐패시터 (Ultracapacitor: UC)모델

독립형 마이크로그리드시스템에 포함되는 신재생에너지원은 주변 자연환경에 따라 출력이 큰 영향을 받기 때문에 안정적인 일정 전력공급원을 확보하기 위한 방안으로 UC 모듈을 DC-BUS에 설치하는 하이브리드 형태로 구성하는 것이 일반적이다. 본 논문에서 사용한 모델은 Maxwell technologies사[8]의 UC 모듈을 기준으로 하였으며 UCB의 수학적 모델링에 사용된 파라메타는 다음과 같다.

- $C$  : 정전용량[F]
- $C_{UC-total}$  : 전체 UC 정전용량[F]
- $EPR$  : 등가병렬저항[Ω]
- $ESR$  : 등가직렬내부저항[Ω]
- $E_{UC}$  : UCB에 저장된 에너지양[Ws]
- $n_s$  : 직렬로 연결된 캐패시터 수
- $n_p$  : 병렬로 연결된 직렬스트링(string)의 수
- $R_{UC-total}$  : 전체 UCB시스템 저항[Ω]

UC의 에너지 양은 정전용량과 단자전압의 변화에 직접적으로 비례하며 다음과 같다.

$$E_{UC} = \frac{1}{2} C (V_i^2 - V_f^2) \quad (7)$$

- $V_i$  : 방전시작 전 초기전압[V]
- $V_f$  : 방전 후 최종전압[V]

UC모듈의 전체저항과 전체 정전용량은 식(8)와 (9)로 나타낼 수 있다.

$$R_{UC-total} = n_s \frac{ESR}{n_p} \quad (8)$$

$$C_{UC-total} = n_p \frac{C}{n_s} \quad (9)$$

### 2.5 축전지(Battery) 모델

축전지는 에너지를 전달 또는 저장하기 위하여 많은 전기 시스템에 활용되어져 왔다. 특히, 최근 신재생에너지원의 적용이 활발히 이루어지면서 자연환경에 따른 신재생에너지원의 출력 변화에 대응하기 위하여 에너지 저장장치 중에서 장시간 운전이 가능하고 단가가 싼 장점 때문에 축전지가 가장 널리 사용되고 있다[9].

축전지의 입출력은 충전 상태, 충전용량, 충·방전의 비율, 주위 온도 및 수명에 따른 함수형태로 나타나며 외부의 전력 변환장치 또는 부하에 의한 영향을 고려하지 않은 이상적인 축전지라고 가정하면 식(10)와 식(11)로 표현된다[10]. 그림. 2는 식(10)~(11)을 이용하여 설계한 축전지모델의

Matlab/SimPowerSystem모델이다.

$$E = E_0 - K \frac{Q}{Q - \int idt} + A \exp(-B \cdot \int idt) \quad (10)$$

$$V_{batt} = E - Ri \quad (11)$$

- $E$ =no-load voltage(V)
- $E_0$ =battery constant voltage(V)
- $K$ =polarization voltage(V)
- $Q$ =battery capacity(Ah)
- $\int idt$ =actual battery charge(Ah)
- $A$ =exponential zone amplitude(V)
- $B$ =exponential zone time constant inverse(Ah)<sup>-1</sup>
- $V_{batt}$ =battery voltage(V)
- $R$ =internal resistance(Ω)
- $i$ =battery current(A)

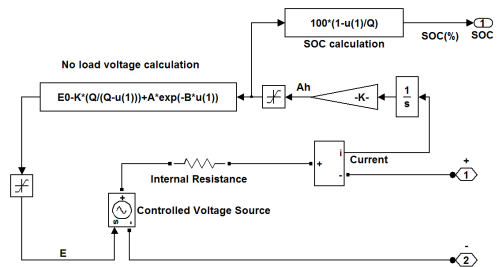


그림 2. 축전지의 SimPowerSystems 모델  
Fig. 2 The SimPowerSystems model of a battery

## 3. 멀티에이전트 기반 분산에너지관리 시스템

### 3.1 멀티에이전트시스템의 정의 및 특성

분산제어가 가능한 멀티에이전트 시스템은 전산과학분야에서 처음으로 용어가 도입되었으며 현재까지 다양한 분야에서 성공적으로 적용되어져 왔다. 그러나 광범위한 분야에서 적용되어져 왔던 만큼 그 정확한 정의를 내리기에 어려운 점이 있으며, 구조 또한 일반화된 구조로 정의되기 어렵다. 그러나 기존의 다양한 정의들을 살펴보면 에이전트가 가져야 하는 공통된 특징들이 있으며 그 내용은 아래와 같다. 아래의 내용을 바탕으로 멀티에이전트 시스템을 정의하면 반응성, 목적지향성, 사회성을 갖춘 여러 개의 에이전트가 결합된 시스템으로 정의될 수 있다[11].

- 반응성 (reactivity)  
에이전트는 환경을 감지하여 설계 목적에 맞게 환경에 반응하는 능력을 가진다.
- 목적 지향성(pro-activity)  
에이전트는 설계 목적을 만족하도록 동기가 부여되어 목적 지향성을 가지고 행동을 하는 능력을 가진다.
- 사회성(social ability)  
에이전트는 설계 목적에 부합되도록 다른 에이전트와 상호 작용을 하는 능력을 가진다.

멀티에이전트시스템의 장점들을 정리하면 아래와 같다.

- 독립적인 응용프로그램의 집합으로는 해결할 수 없는 보다 복잡한 운전을 다른 에이전트와 협력을 통해 제공한다.
- 자기 이외의 서비스시스템의 상황을 데이터베이스 에이전트나 에이전트간의 상호협조를 통하여 수시로 파악할 수 있기 때문에 시스템의 신뢰성을 크게 향상시킬 수 있다.
- 매우 복잡한 제어시스템에서 고도의 확장성과 유연한 솔루션을 제공한다.
- 리스크의 분산과 에이전트간의 긴밀한 협조로 높은 내고장성을 유지할 수 있다.

최근에는 전력 계통의 발전과 설비의 증가로 인하여 분산제어의 필요성이 대두되면서 분산제어의 특성을 가진 멀티 에이전트 시스템이 크게 관심을 받고 있으며 다양한 전력 분야에서 연구가 활발히 이루어지고 있다[12-13].

### 3.2 멀티에이전트 기반 독립형 마이크로그리드 시스템을 위한 통합시뮬레이션 모델

독립형 마이크로그리드 시스템은 가변되는 부하전력을 신재생에너지원과 분산전원 그리고 에너지 저장장치들만이 사용되어 부하를 충족해야 하기 때문에 계통연계형에 비하여 운전특성에 따라 효율이나 수명이 크게 좌우되는 축전지, 연료전지, UCB의 제어전략들이 중요하게 된다. 그림 3은 본 논문에서 사용된 멀티에이전트시스템을 포함하는 독립형 마이크로그리드의 전체 시스템이다. 각각의 에너지원과 저장장치들은 DC-DC 컨버터에 의해서 DC-BUS에 연결되고 각각의 에이전트들에 의해서 제어되며 PV와 PEMFC가 에너지원으로서 동작되고 저장장치로 축전지와 UCB를 갖는 하이브리드형태의 구조로 결합되어진다.

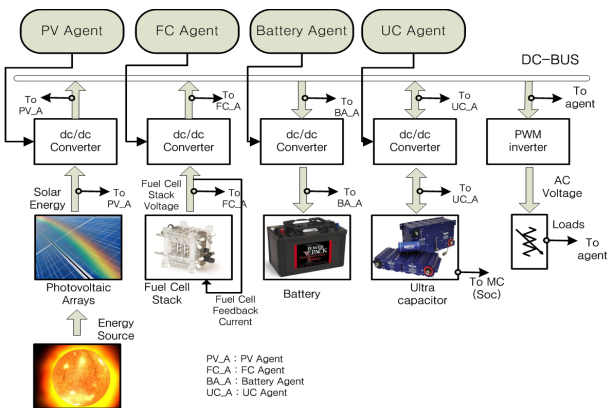


그림 3. 멀티에이전트 기반 독립형 마이크로그리드  
Fig. 3. Multi-agent based stand-alone microgrid

## 4. 시뮬레이션 및 결과고찰

독립형 마이크로그리드 시스템에서 제안된 멀티에이전트 시스템의 성능을 평가하기 위하여 시스템의 용량은 12kW PV 시스템과 최대출력 12kW의 PEMFC, 축전지는 정격 200V, 6.5Ah로 선정하였다. 그림 4는 본 논문에서 제안하는 Matlab/Simpowersystem/Stateflow 기반의 통합 시뮬레이션 모델이다. 부하는 UCB와 축전지의 DC-link 전압제어의 전환 등을 평가하기 위하여 그림 5와 같이 초기 10kW에서 2초에서 10초 사이에 20kW, 10초 이후에는 다시

10kW로 운전되도록 하였다. 초기의 UCB의 SOC는 70%, 축전지의 SOC는 100%로 동작하도록 하였다. 그리고 PEMFC의 출력은 연료전지의 특성을 고려하여 본 연구에서는 10kW의 고정출력으로 시뮬레이션 하였다. 제안된 통합시뮬레이션 모델과 각 에이전트들의 동작 시나리오에 대한 유용성을 확인하기 위하여 UCB와 축전지의 모드전환, 충·방전 동작, DC-link의 전압제어에 대하여 분석하였다.

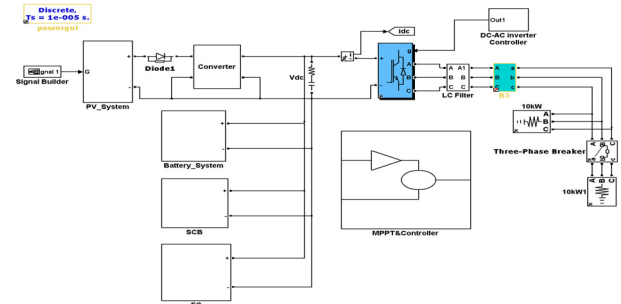


그림 4. 독립형 마이크로그리드 시스템 Matlab/Simulink 모델  
Fig. 4. Matlab/simulink model for stand-alone microgrid

Fig. 4. Matlab/simulink model for stand-alone microgrid

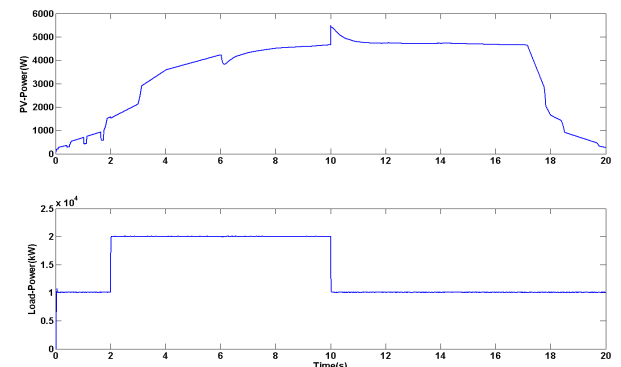


그림 5. 태양광 시스템의 출력과 요구부하전력  
Fig. 5. Output power of PV and demanded load power

### 4.1 PV 시스템 에이전트 동작

독립형 마이크로그리드시스템을 위한 PV 시스템의 에이전트는 현재의 요구부하전력량, 축전지와 UCB에이전트로부터 각각의 SOC를 입력으로 받은 후 입력 정보를 바탕으로 요구부하전력이 현재의 자신의 최대출력전력보다 높을 경우 MPPT제어를 통하여 최대전력을 출력하고 반대로 자신의 최대출력전보다 요구부하전력이 낮을 경우에는 축전지와 UCB의 SOC에 따라 각 저장장치들로 충전하도록 설계하였다. PV시스템의 출력이 요구부하전력보다 큰 경우 PV-에이전트는 잉여 전력을 분배하게 된다. 표 1은 UCB가 DC-link전압제어 모드로 동작할 때의 PV-시스템의 잉여전력 분배를 나타낸다.

전체 시스템에서 저장장치의 우선순위는 UCB, 축전지, 수전해장치 순으로 설정하였다. 수전해장치에 비해 축전지가 우선순위가 더 높기 때문에 표 1의 State 1\_4에서의 분배는 축전지의 충전전력 비율을 수전해장치에 비해 높게 하였으며 축전지의 SOC 최대값(SOCmax)값과 같아질 동안 계속적으로 충전된다. 축전지가 DC-link전압제어 모드로 동작할 때에도 비슷한 동작하도록 설정하였다.

표 1. UCB기반의 DC-link전압제어에서의 전력분배  
Table 1. Power distribution on UCB based DC-link voltage control

State	UC SOC	Battery SOC	수소 탱크 압력	UC 충전 전력	Battery 충전 전력	수전해 소비전력
State 1_1	DC-link Mode	SOC <sub>max</sub> = Ok	P <sub>b-max</sub> = Ok	-	-	-
State 1_2	DC-link Mode	SOC <sub>max</sub> = Ok	P <sub>b-max</sub> = Not	-	-	P <sub>PV</sub>
State 1_3	DC-link Mode	SOC <sub>max</sub> = Not	P <sub>b-max</sub> = Ok	-	P <sub>PV</sub>	-
State 1_4	DC-link Mode	SOC <sub>max</sub> = Not	P <sub>b-max</sub> = Not	-	0.8P <sub>PV</sub>	0.2P <sub>PV</sub>

### 4.2 UCB 에이전트 동작

UCB의 운전은 SOC의 10%~100%까지 운전이 가능하나 일반적으로 울트라커패시터는 과전압 상태에서 수명 및 출력특성이 매우 민감하기 때문에 SOC의 최대점을 80%~90%로 설정한다. 또한 순간피크전력의 공급과 UCB의 안정적인 DC-link전압제어를 위하여 SOC의 최소운전범위를 설계자가 설정할 수 있으나 일반적으로 40%~50%정도에서 그 범위를 설정한다[8]. 따라서 본 논문에서는 UCB의 동작을 SOC의 40~80% 사이에서 운전되도록 설정하였으며, UCB의 SOC가 정상상태일 때 DC-link전압에 대한 최우선 권한을 갖도록 하였다.

### 4.3 축전지 에이전트 동작

축전지의 충.방전은 축전지의 수명에 큰 영향을 주기 때문에 안정한 운전전략이 중요하게 된다. 일반적으로 SOC의 20%~80%사이에서 운전되나 UCB와 마찬가지로 DC-link 전압제어모드에서 순간피크전력의 공급과 UCB의 안정적인 DC-link전압제어를 위하여 SOC의 최소운전범위를 40%로 설정하였다.

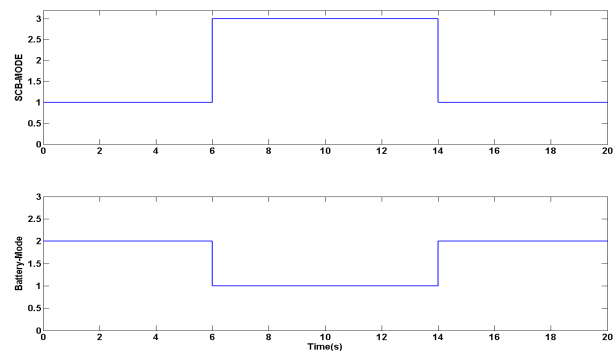


그림 6. UCB와 축전지의 운전모드  
Fig. 6. Operating mode for Ultracapacitor and battery

### 4.4 구성장치들의 출력에 대한 결과 고찰

그림 6은 UCB와 축전지의 모드변화를 나타낸다. 모드 1은 DC-link제어를 나타내고 모드 2는 전력모드 모드 3은 충전모드를 나타낸다. 모드 2의 전력모드에서는PV의 출력이 요구부하전력량보다 부족했을 경우 일정량의 전력을 공급한다. 그림 7은 UCB와 축전지의 SOC변화를 나타낸다. 6

초에서 UCB의 SOC가 40%이하로 내려갔을 때 UCB의 에이전트의 동작에 의해서 축전지로 DC-link 제어를 제어하도록 하고 UCB는 충전모드로 동작하게 된다. 14초에서 UCB의 SOC가 60%로 충전이 되면 UCB는 축전지로부터 DC-link제어권을 받아오게 되고 이때 축전지는 요구부하전력의 일정부분을 담당하는 전력모드로서 동작하게 된다. 그림 8은 UCB의 전류 및 전압을 나타낸다. 6초~14초 사이에 충전을 함으로써 전류의 방향이 반대방향으로 일어나는 것을 알 수 있으며, 전압은 SOC의 충전으로 증가하는 것을 알 수 있다. 그림 9는 축전지의 전류 및 전압을 나타낸다. 0~6초 사이에서 축전지의 SOC가 정상상태이기 때문에 모드 2로 동작하여 일정전력을 부하에 공급하고 전압의 감소로 나타낸다. 6~14초까지 DC-link전압 제어를 하는 동안 10초까지는 부족분 전력량이 크기 때문에 DC-link전압 제어를 위해서 큰 전력을 소모하고 10초 이후에는 PEMFC와 PV의 출력전력량이 요구 부하전력량에 거의 근접하기 때문에 작은 전류변화를 보이는 것을 알 수 있다. 그림 10은 UCB와 축전지의 모드변화에 따른 DC-link전압의 변화를 나타낸다. 그림 6~10에서 알 수 있듯이 각 에이전트들의 동작에 따라 DC-link제어를 위한 UCB와 축전지의 모드 전환이 잘 이루어지는 것을 알 수 있다.

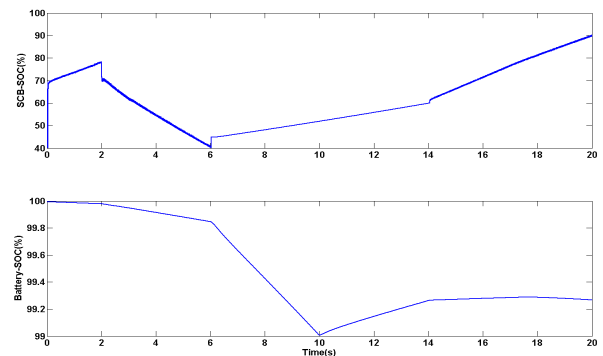


그림 7. UCB와 축전지의 SOC  
Fig. 7. SOC of Ultracapacitor and battery

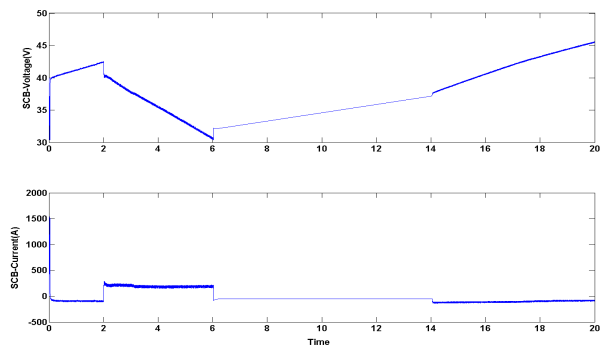


그림 8. UCB의 전류 및 전압  
Fig. 8. Current and voltage of UCB

따라서 본 논문에서 제안된 통합시뮬레이션 모델은 멀티 에이전트기반의 분산에너지관리시스템을 설계하는데 있어 각 구성장치들의 출력변화 및 에이전트의 동작 시나리오에 따른 출력변화를 확인 하는데 유용함을 확인할 수 있었다.



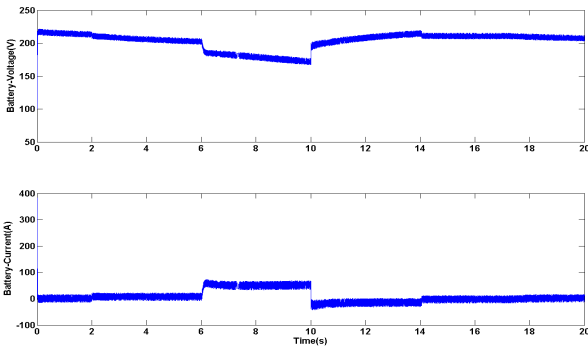


그림 9. 축전지의 전류 및 전압  
Fig. 9. Current and voltage of battery

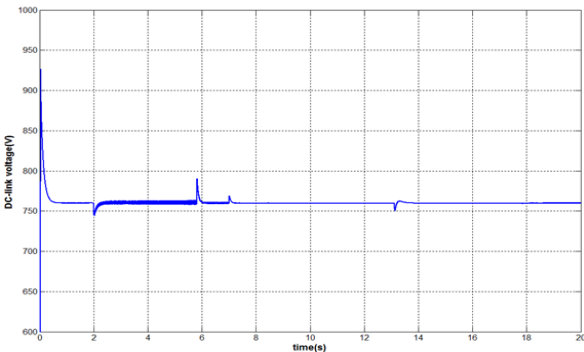


그림 10. DC-link 전압  
Fig. 10. DC-link voltage

### 5. 결 론

본 논문에서는 신재생에너지를 포함하는 독립형 하이브리드시스템의 멀티에이전트기반 분산에너지관리시스템의 효과적인 설계를 위한 통합 시뮬레이션 모델을 제안하였다. 독립형 하이브리드시스템의 에너지관리시스템은 구성장치들의 각 상태에 따라서 적절한 제어가 필수적이며 구성장치들의 제어 연산량이 많아지면 고전적인 중앙에너지관리기법 보다 분산에너지관리기법이 더 효과적인 것으로 알려져 있다. 그러나 기존의 전력시스템 설계 도구들은 분산에너지관리시스템을 설계하기에는 많은 어려움 점들이 있기 때문에 본 논문에서는 Matlab의 전력시스템 설계도구인 Simpowersystem과 이벤트기반의 알고리즘 설계가 가능한 StateFlow 도구를 이용하여 멀티에이전트기반의 분산에너지관리시스템 설계를 위한 통합시뮬레이션 모델로 설계하였다.

제안된 통합 시뮬레이션 모델은 SimPowerSystems을 이용한 구성장치의 시뮬레이션 모델과 Stateflow을 이용한 멀티에이전트기반의 분산에너지관리시스템으로 구성하여 각 에이전트들의 특정 조건에 따른 출력들을 평가하였다. 시뮬레이션 결과로서 특정 조건에서의 각 에이전트들의 동작과 각 구성장치들의 출력들이 만족할 만한 성능을 보이는 것을 확인할 수 있었으며, 제안된 모델을 이용하여 복잡한 구조를 가지는 마이크로그리드시스템의 에너지관리시스템을 비교적 쉽게 설계 가능할 것으로 예상된다.

### 참 고 문 헌

- [1] CERTS, " Integration od DER : the CERTS Microgrid Concept", Oct. 2003.
- [2] 홍원표, "소형분산에너지시스템 특집: "빌딩마이크로그리드시스템 현황과 제어·운영기술", KIIEE Magazine, 제23권, 2호, pp.10-23, 2009.
- [3] Jeremy Lagorse, Damien Paire, Abdellatif Miraoui "A multi-agent system for energy management of distributed power source renewable Energy, Vol. 35, No. 1, pp. 174-182, 2010.
- [4] <http://www.mathworks.co.kr/products/state-flow/description1.html>
- [5] 조재훈, 홍원표, 전명근, "스마트그리드를 위한 신재생에너지원과 하이브리드시스템 모델링", 조명.전기설비학회논문지, 제24권, 제12호, pp. 109-121, 2010.
- [6] M. Uzunoglua, O.C. Onara, and M.S. Alam, "Modeling, control and simulation of a PV/FC/UC based hybrid power generation system for stand-alone applications", *Renewable Energy*, Vol. 34, No. 3, pp. 509-520, 2009.
- [7] Ø. Ulleberg, "Modeling of advanced alkaline electrolyzer: a system simulation approach", *Internaional Journal of Hydrogen Energy*, Vol.28, pp. 21-33, 2003.
- [8] Electric Double Layer Capacitor: BOOSTCAP Ultracapacitor.<[http://www.maxwell.com/pdf/uc/datasheets/mc\\_power\\_series\\_48\\_1009365\\_rev3.pdf](http://www.maxwell.com/pdf/uc/datasheets/mc_power_series_48_1009365_rev3.pdf)>.
- [9] 손학식,최준호,김재철, "수용가 형태에 따른 전지전력저장시스템의 경제성평가", 한국조명·전기설비학회논문지, 제16권, 제2호, pp.81-89, 2002.
- [10] Olivier Tremblay, Louis-A., and Abdel-Ilhah Dekkiche, "A Generic Battery Model for the Dynamic Simulation of Hybrid Electric Vehicles", VPPC 2007, pp. 284-289, 2007.
- [11] M. Wooldridge and N.R. Jennings, "Intelligent Agents : Theory and Practice", *The Knowledge Engineering Review*, 10(2), pp. 115-152, 1995.
- [12] T. Nagata and H. Sasaki, "A multi-agent approach to power system restoration," *IEEE Trans. Power Systems*, Vol. 17, No. 2, pp. 457-462, May 2002.
- [13] S. D. J. McArthur, S.M. Strachan, and G. Jahn, "The design of a multiagent transformer condition monitoring system," *IEEE Trans. Power Systems*, Vol. 19, No. 4, pp. 1845-1852, 2004.

저 자 소 개

**조재훈(Jae Hoon Cho)**

2010년 제 20권 3호 참조

**조영임(Young Im Cho)**

2010년 제20권 2호 참조

**이대종(Dae Jong Lee)**

2010년 제 20권 3호 참조



**박선홍(Seon Hong Park)**

2010년~현재 : 충북대학교 대학원 제어로  
봇학과 재학중

**전명근(Myung Geun Chun)**

2010년 제 20권 3호 참조

관심분야 : 지능 시스템, 임베디드 시스템  
E-mail : parkseonhong@chungbuk.ac.kr