Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers (2015) 29(1) : 70~79
http://dx.doi.org/10.5207/JIEIE.2015.29.1.070 ISSN 1229-4691(Print) ISSN 2287-5034(Online)

비상용 디젤동기발전시스템기반 독립운전 하이브리드에너지시스템 모델 설정 및 시뮬레이션 분석에 관한 연구

(Simulation Analysis and Development of Matlab/Simulink Model for Stand-alone Operation of Emergency Diesel Synchronous Generator-based Hybrid Energy System)

홍원표*
(Won-Pyo Hong)

Abstract

In this paper, enhanced stand-alone operation and development of Matlab/Simulink model of emergency diesel based hybrid energy system is presented. Simulations based on the remote community or islands were performed for PV-diesel-battery hybrid system. Modeling of PV-diesel-battery integrated system is done to perform under the solar radiation and load conditions on Matlab/Simulink platform. The models of diesel generator unit, battery energy storage system, PV and frequency-power control are developed and simulation studies have been carried out under various conditions using Matlab/Simulink and SimPowerSystem. It is demonstrated that the proposed system can provide reliable and good quality power to the customers in diesel synchronous generator-based hybrid energy systems.

Key Words : Matlab/Simulink Model, Emergency Diesel Synchronous Generator Stand-Alone Operation. PV-Diesel Hybrid System

1. 서 론

CO2에 의한 지구온난화로 인하여 탄소순환에 의한 지구생존시스템은 심각한 도전을 받고 있다. 특히 화석연료기반을 가진 현대 문명은 이제 새로운 그린 에너지시스템을 구축해야만 하는 시대적 요구에 신속하게 반응해야만 하는 시점에 있다. 이를 해결하기 위한 대안으로 도시, 타운, 공동주택 단지, 빌리지, 고립지역과 도서지역에 스마트그리드와 마이크로그리드의 적용이 적극적으로 검토되고 있다. 특히 마이크로그리드의 개념은 미국의 CERTS[1-2]에 의하여 소개되었다. 이 마이크로그리드는 신재생에너지원과 에너지저장장치를 포함하는 분산전원이 부하집중 건물, on-site 및 배전계통에 도입되고 이를 ICT를 이용하여 에너지인터넷[3]을 궁극적으로 구축하여 계통연계 혹은 독립운전이 가능한 에너지시스템으로 정의한다[4]. 계통연계 마이크로그리드는 상위 전력

* Main author : Dept. of Building & Plant Engineering, Hanbat National University, Korea
Tel : 042-821-1179, Fax : 042-821-1175
E-mail : wphong@hanbat.ac.kr
Received : September 19, 2014
Accepted : November 21, 2014

Copyright ⓒ 2015 KIIEE All right's reserved
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.

계통과 연계하여 수요반응, 수요관리 및 실시간 요금에 대응하여 에너지 비용을 줄일 수 있는 장점이 있다. 또한 신재생에너지원의 불규칙한 출력 평준화와 전력품질을 향상시킬 수 있다[5]. 한편 독립운전 모드는 2가지로 나눌 수 있다. 첫째는 전력계통의 사고 등으로 인하여 마이크로그리드를 전력계통에서 물리적으로 분리하여 운전하는 방식으로 유무효전력 수요와 발전제어를 통해 주파수와 전압을 수요에 요구하는 적정값 유지하고 계통이 회복되면 재동기가 가능한 방식이다. 이 방식은 건물, 타운 및 공장 등을 중심으로 적용되면 독립운전시 비상전원의 역할을 수행할 수 있으며 상위계통과 연계운전시에도 독립운전 모드로 전환하여 수요반응에 대응할 수 있다. 두 번째의 독립운전은 고립마을과 도서지역 같은 중앙집중방식으로 에너지를 공급하기에 경제성과 안정성측면에서 큰 제약이 있어 대부분 디젤발전기로 전력을 독립적으로 공급하고 있다[6-7]. 본 논문에서는 두 번째의 독립운전 방식으로 도서 지역 등에 에너지 환경에 적합하도록 마이크로그리드를 구축하는 데 활용하고 또한 현재 도시의 건물에 설치되어 있는 비상발전기를 전력자원을 창출하기 위한 방안의 하나로 초점을 맞추었다. 최근 비상디젤 발전기가 주목받은 이유는 우리나라를 비롯한 선진국의 전력수급 대란과 ICT 기술 발달로 수요도 자원으로 활용할 수 있다는 발상의 전환과 분산전원기술발달에 기인한다[8-10].

최근 2011년 9월 15일 정전사고나 지난해 여름 최대 전력수요는 지난 8월 19일 기록된 8,008만kW로 심각한 예비력 부족상황이 지속되어 전력수급의 위기상황임을 심각하게 경고하고 있는 시점에서[10], 현재 전력수급 관점에서 거의 사장되고 있는 20GW 이상의 비상/자가발전기의 전력피크시의 자원으로써의 활용은 최근의 심각한 전력수급우려로 인하여 매우 크게 주목받고 있다[11]. 최근 이를 전력수급에 활용하기 위한 연구는 매우 다각적으로 외국[12-13]을 비롯한 국내에서 이루어지고 있으나 단기적으로 무정전 절체장치를 500kW이상의 디젤비상 발전기를 가진 중심으로 지원하는 방안이 추진되고 있다[14]. 그러나 이는 비상발전기의 안정적인 운전제약, 도심에서의 환경공해, 수요반응을 고려한 경제적인 관점에서 어려움 등으로 인하여 제한적인 활용이 불가피하다. 따라서 도심지를 중심으로 마이크로그리드의 적극적으로 보급됨에 따라 빌딩마이크로그리드의 한 구성요소로써 디젤발전기의 독립운전과 계통연계운전의 다양한 적용방법을 개발해야 한다. 독립운전모드 마이크로그리드전압과 주파수를 적정한 값으로 유지하는 것이 중요함으로 선진국을 중심으로 연구개발이 진행되고 있다. 동기기를 사용하고 있는 드룹(droop)을 이용한 기본원리 및 제어방법에 대한 연구[15], 마이크로그리드 관리시스템하이브리드시스템의 복잡한 제어를 위한 다중에이전트시스템(Multi-agent system : MAS) 분산제어[16], 또한 부하절체를 통한 독립운전 유지 전략을 위한 운영알골리즘에 관한 연구[17]도 진행되었으며, 전원의 종류와 효과 및 경제성 검토와 관련된 연구결과도 제시되었다. 도서와 고립된 지역에 적용되는 하이브리드에너지시스템은 도심지 독립형 마이크로그리드보다는 덜 정교한 제어방법을 선택하지만 최근의 한국[18] 및 선진국의 마이크로그리드 기술개발이 주도적으로 이루어지고 있어 배터리를 적용한 출력전력 안정한 제어 방법[19, 20]들과 배터리를 사용하지 않는 경우에도 유연한 제어방법과 설계방법들도 제시되고 있다. 따라서 본 논문에서는 디젤비상발전기 전력자원 창출을 위한 빌딩마이크로그리드의 구현과 일사량이 양호한 도서지역의 하이브리드 에너지시스템의 구축을 위한 독립운전시스템 분석에 목적이 있다. 이를 위하여 대부분의 연구가 간략화된 모델을 사용 데 반해 동적특성을 정확히 파악하기 위하여 조속기와 연료랙 조작기 및 연료프로세스지연요소를 가진 디젤엔진과 동기발전기 Matlab(2014a)/SimPowerSystems[21]에서 제공하는 5th d-q 좌표모델과 여자기모델, MPPT를 가진 PV발전시스템을 모델링하여 배터리를 전력출력을 안정하게 제어할 수 있는 제어모델과 전압형 전력변환기모델을 구현하였다. 최종적으로 시뮬레이션실험을 통하여 전력 및 주파수의 특성을 비교 평가하였다. 이는 앞으로 디젤 엔진기반 독립형 마이크로그리드의 비상전원으로서의 활용과 도서지역 PV-디젤엔진발전시스템 구축 분야에 기여할 것으로 판단된다.

2. 하이브리드시스템 구성 및 운전모드

2.1 하이브리드시스템 운전 모드

본 논문에 사용되는 병렬하이브리드시스템은 디젤발전기와 배터리뱅크의 크기가 매우 중요한 요소가 된다. 저녁시간대의 피크부하는 발전기와 인버터에 의하여 충분히 대응해야 한다. 디젤발전기의 용량을 최대한 적은 것을 선택하는 것은 연료 효율성 제고 및 엔진수명을 연장하는 데 밀접한 관련성이 있다. 전력흐름제어는 하이브리드시스템에서의 다양한 전원의 전력의 연속적인 방향제어를 하게 된다. 부하수요의 변화에 따라 PV에서 발전하는 변동전력과 DG의 발전 및 배터리 SOC 및 하이브리드 에너지시스템제어기는 동작조건을 지속적으로 변화하여 대응해야 한다. 이때 디젤발전수급전략을 다양하게 설정할 수 있다. 가장 일반적인 방법은 6가지 모드를 사용하여 제어하였다.

(1) Mode 1 : 기저부하 야간시간과 새벽시간에 주로 경험하는 부하로 주로 배터리에 의하여 전력을 공급하며, PV와 디젤발전은 운전하지 않는다.

(2) Mode 2 : 중간부하영역에서는 PV는 배터리와 수요 담당한다. PV발전시스템의 효율을 최대화하기 위하여 배터리에 충전하기 보다는 인버터에 의하여 직접 공급한다.

(3) Mode 3 : 중간 부하수요는 PV발전으로 담당하고 여분에너지는 배터리에 충전하게 된다.

(4) Mode 4 : 디젤발전 운전을 시작하여 정격출력을 발생하여 저녁시간의 중부하 수요에 대응한다. 이 시간 PV에서 발전하는 전력은 매우 작고 디젤발전기에서의 잉여전력은 배터리에 재 충전하게 된다.

(5) Mode 5 : 이 시간은 디젤발전 출력이 피크부하 수요를 담당하기에 부족하기 때문에 부족한 전력은 AC 출력 전압을 갖고 동기화할 수 있는 인버터로 운전되는 배터리에 의하여 공급한다. 이것은 피크부하를 다수의 전원을 가지고 수요에 대응할 수 있기 때문에 병렬하이브리드시스템의 주요 장점이 된다.

(6) model 6 : 디젤 발전은 부하 수요를 초과하는 발전을 하지만 배터리의 정해진 SOC레벨 재충전될 때까지 동작을 지속하게 된다. 이때 배터리 용량은 디젤발전기의 동작 없이 야간의 기저부하를 공급할 수 있는 능력을 가져야 한다.

특히 양방향 인버터(bi-directional inverter)는 여러 소오스의 병렬운전으로 피크부하를 담당하는 경우 AC전원의 몇 싸이클 이내에 발전기와 동기화되어야 한다. 원칙적으로 모든 전원에서 발전하는 전력은 직접 부하에 배터리의 충전없이 사용하도록 해야 한다. 그림 1은 전력흐름제어에 기반한 PV-Diesel 하이브리드에너지시스템 동작 모드를 나타낸 것이다.

3. 하이브리드에너지시스템 모델링

3.1 디젤 비상동기발전기 시스템 모델링

3.1.1 디젤엔진 모델링

그림 2는 디젤엔진 비상발전기 주요 구성요소를 나타낸 것이다. 이는 디젤엔진, 동기발전기, 엔진 스피드 제어기 및 동기발전기 전압을 제어하기 위한 여자기와 전압조정기로 이루어져 있다. 디젤엔진 유니트는 연료에너지를 기계적에너지로 최종적으로 속도제어기에서 전기에너지로 변환하는 장치이다.

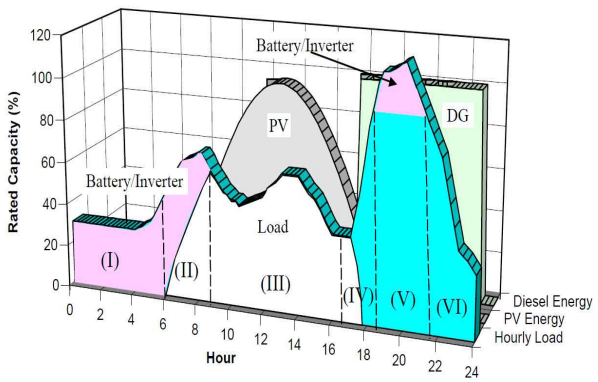

그림 1. PV-Diesel 하이브리드에너지시스템 동작 모드
Fig. 1. Operating modes for a PV - Diesel hybrid energy system

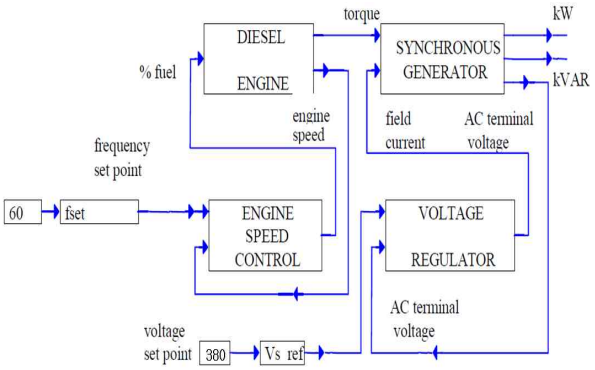

그림 2. 디젤발전기 블럭 다이어그램
Fig. 2. Block diagram of the diesel generator modules

그림 2의 블럭의 엔진과 엔진 속도제어블럭은 그림 3의 블럭으로 자세하게 나타낼 수 있으며, 관련된 식은 다음과 같이 간략하게 설명할 수 있다. 본 논문에서는 IEEE 속도-조속기 모델의 수력식 모델로 연료조작기는 어떤 속도의 오일흐름을 발생시키는 제어요소로 이 동적특성은 연료조작기 이득 K_2와 시정수 τ_2에 의하여 1차 지연모델을 사용하였다. 이 시정수는 엔진연료의 온도에 따른 복잡한 함수를 가지게 된다. 그림 5의 조속기를 표현하는 동적방정식은 아래와의 식과 같이 나타낸다.

$$\frac{dP_c}{dt} = -\frac{K_1}{w_0}\Delta w \quad \text{(p.u)} \tag{1}$$

$$\frac{d\dot{m}_B}{dt} = \frac{1}{\tau_2}\left(K_2 P_c - \frac{K_2}{w_0 R}\Delta w - \dot{m}_B\right) \tag{2}$$

$$\dot{m}_B'(t) = \dot{m}(t-\tau_1) \tag{3}$$

여기서 $\dot{m}_B'$는 연소되는 연료비율, ϵ 연소효율로 공기연소비율의 함수로 본 연구에서는 정격속도에서 일정하다고 가정하였다. 간력화 된 디젤엔진모델은 1차 위상지연식(phase lag)을 K_2이득을 가지는 조작기(actuator)와 점화와 스트로크지연의 물리적 프로세스로 표현되는 매우 큰 지연값(τ_1)을 가지는 디젤연소부분으로 표현된다[22]. 데드시간(dead time)τ_1은 회전속도 n의 함수로 식 (4)로 나타낼 수 있다.

$$\tau_1 = \frac{An^2 + Bn + C}{n^2} \tag{4}$$

여기서 A, B, C는 [23]에서 제시한 바와 같이 현장에서 실험적으로 얻을 수 있는 상수이다. 본 연구에서는 A=C=0와 B =0.02을 사용하였다. 이 조작기의 출력으로 연료의 양은 디젤엔진에 의한 연소를 거쳐 기계적 토오크 T_{Dm}을 발생시킨다. 기계 운동방정식은 (swing equation) p.u 단위계에서 식 (5)와 같이 쓸 수 있다.

$$2H\frac{d\omega_r}{dt} = T_m - T_e \tag{5}$$

여기서 T_m : 기계적 토크(P.U), T_e : 동기발전기 전기적 토크(P.U), H : 관성계수이다.

전력 P_e는 복합적인 부하에 전력을 공급한다. 일반적인 저항성분들은 주파수에 독립적이지만, 특히 모터부하와 같은 유도성 부하는 주파수에 의존적이다. 따라서 아래와 같이 표현된다.

$$\triangle P_e = \triangle P_L + D\triangle\omega_r \tag{6}$$

$\triangle P_L$: 부하전력변화(주파수독립), D : 부하 댐핑계수이다. 따라서 최종적으로 운동방정식은 식 (7)과 같다.

$$2H\omega_0\frac{d(\triangle\omega_r)}{dt} + D\triangle\omega_r = \triangle P_m - \triangle P_L \tag{7}$$

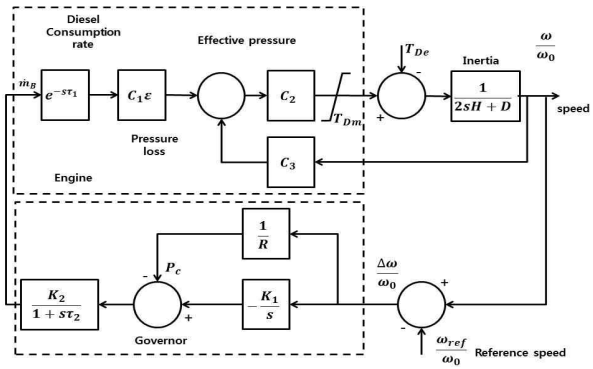

그림 3. 디젤 엔진, 조속기-스피드 모델
Fig. 3. Diesel engine and governor model

3.1.2 동기발전기 모델링

동기발전기는 발전기시스템에서 가장 중요한 부분으로 기계적 동력과 계자 전압을 입력받아 계통의 전압과 전류를 출력한다. 동기발전기는 d-q 좌표계로 변환하여 사용하며 Park 변환을 적용하여 고정자 변수를 회전자좌표계로 변환한다. 본 연구에서는 SimPowerSystem[21]에서 제공하는 5th d-q 좌표모델을 사용하였다. 이것은 Krause에 의하여 제공된 표준 라이브러리 요소로 모의에 쉽게 사용이 가능하다. 그림 4는 여자기 시스템에서 Vf의 입력을 가진 디젤엔진 Simulink 모델을 나타낸 것이다.

3.1.3 AVR과 여자기 모델

동기기의 AVR과 여자기는 IEEE Type 1[24-25]를 기반으로 한 Simulink DC 여자기 모델을 사용하였다. 본 모델에서는 여자기의 포화 함수를 무시하였다. 여자기는 여자기 전압 E_{fd}와 전압조정기 출력 ef의 전달 함수로 나타내었다.

$$\frac{V_{fd}}{ef} = \frac{1}{K_e + s\,T_e} \tag{8}$$

3.2 배터리 모델

배터리는 직렬 일정 저항을 갖는 제어가능한 전압 소오스로 그림 5와 같이 간단한 모델로 나타내었다 [16]. 배터리의 기능과 역할에 대한 식은 식 (7)~(9)와 같다.

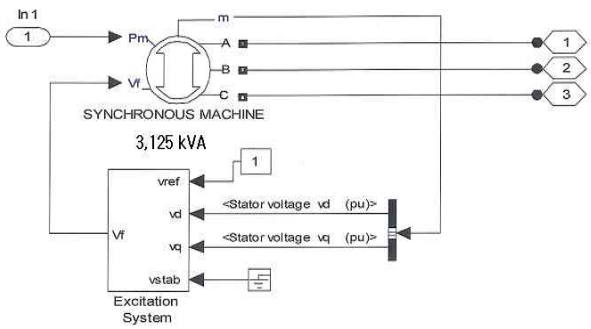

그림 4. 디젤엔진 Simulink모델
Fig. 4. Simulink Model of diesel engine

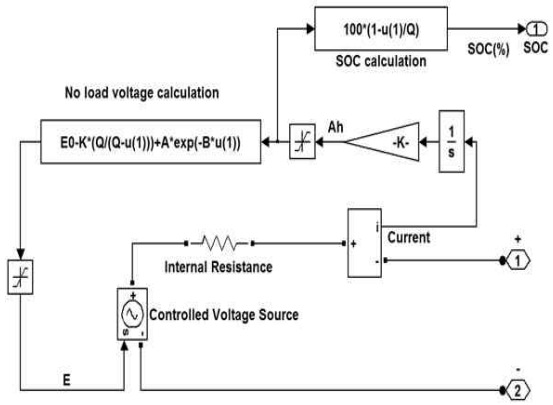

그림 5. 배터리 모델
Fig. 5. SimPowerSystems model of battery

배터리 입력 전력(P_{BAT})은 충전과 방전 모드에 따라 음과 양의 값을 가질 수 있다. 배터리 전력은 식 (9)로 나타낼 수 있다.

$$P_{BAT} = P_{DG} + P_{PV} - P_{LOAD} \tag{9}$$

SOC_{BAT}는 배터리의 전력과 효율에 의하여 식 (10)으로 나타낸다.

$$SOC_{BAT} = \int (P_{BAT,charging} \times \eta_{BAT} - P_{BAT,discharing})\,dt \tag{10}$$

배터리 SOC가 설정된 값 이하일 경우 DG와 PV가 충전을 배터리에 충전을 하게 되는데, 이때 2개의 전원에서 충전모드를 설정할 수 있지만 우선모드는 PV이고 다음 DG이다. 어느 시간이든 배터리 충전용량 ($C_{BAT}(t)$)는 식 (11)의 제한 조건에 따른다.

$$C_{BAT,\min} \le C_{BAT}(t) \le C_{BAT,\max} \tag{11}$$

3.3 PV 모델

PV 모델은 [26]에서 제시한 모델을 인용하였다. 이는 시뮬레이션시간과 데이터 저장의 효율성을 위하여 Matlab Toolbox에서 제공되는 2D Lookup 테이블과 SimPowerSystems에서 제공하는 전류제어 전압원(Controlled Current Source)을 이용하여 태

양광 어레이를 모델링하였다. 태양광어레이의 출력을 2D Lookup 테이블로 생성하기 위하여 다른 일사량(Irradiance)에서 태양광어레이의 I-V 값을 이용하였다. 그림 6은 생성된 2D Lookup 테이블과 전류제어 전압원(Controlled Current Source)을 이용한 태양광 어레이의 Simulink 모델이다. 2D Lookup 테이블의 입력은 일사량과 태양광 어레이의 출력전압이다. 출력전압은 초기값을 계산하기 위하여 초기값을 가지는 시지연 전달함수를 통하여 피드백된다. PV 시스템과 MPPT의 상세한 Simulink 모델은 그림 6과 같다.

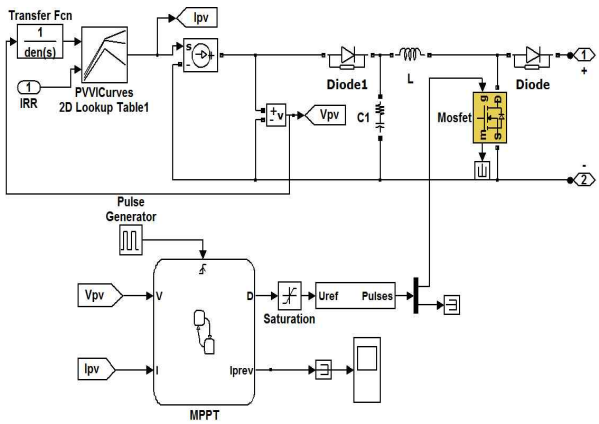

그림 6. PV 어레이의 Matlab/Simulink 모델
Fig. 6. Matlab simulink model for PV array

3.4 하이브리드에너지시스템 구성

디젤동기발전시스템 기반 하이브리드에너지시스템 Simulink와 SimPowerSystem 모델은 그림 9와 같이 구성하였다. DC-link 캐패시턴스, L-C필터, 유효 및 무효전력 그리고 중요한 파라메타는 표 1과 같다.

4. 디젤발전기반 하이브리드 에너지시스템 시뮬레이션 및 특성분석

앞 절에서 개발된 디젤동기발전시스템을 포함한 하이브리드 에너지시스템의 독립운전제어를 위한

표 1. 하이브리드시스템 파라메타
Table 1. Hybrid system parameters

System Parameters	Values
Line Voltage	380V
Active Load	25kW
Reactive Load	10kVar
Vdc capacitor(C_{vdc})	2000μF
Filter inductor(L_1)	1.9mH
Filter capacitor(C_f)	5.78μF
Filter inductor(L_2)	0.25mH
Vdc Voltage	760V

Matlab/Simulink 모델을 그림 7에 나타내었다. 본 시뮬레이션에서 사용된 태양광 발전시스템은 최고 일사량에서 최대 100kW의 출력을 가지고 배터리는 200V, 6.5Ah Ni-MH 배터리를 사용하였다. 본 연구에 사용된 파라메타는 표 2-4에 표시하였다. 그림 8은 태양광시스템의 일사량 그래프를 나타낸다. 일사량이 좋은 0~5초 구간동안에는 태양광시스템과 배터리로만 부하전력을 담당하고 일사량이 적은 5초 이후 구간에서는 디젤발전기의 투입으로 부하전력을 공급한다. 그림 9는 일사량에 따른 태양광발전시스템 출력을 나타낸 것이다. 그림 10은 DC-link 전압의 곡선을 나타낸다. 전 구간동안 안정하게 760V를 유지하고 있다. 이는 배터리의 응동에 의하여 일사량이 적은 구간에서도 DC-link전압을 잘 유지시키고 있다고 판단된다. 특히 DC-link 전압은 AC계통의 전압을 안정하게 유지하는 데 매우 중요한 역할을 하게 된다. 그림 11은 배터리의 충방전 특성을 나타내고 있으며, 이는 그림 13의 부하변동에 따라 5초 후의 발전기 출력이 작은 경우에 매우 효과적으로 배터리가 응동하고 있음을 보여주고 있다. 디젤발전기 투입시간인 5초 이후에 디젤발전기는 부하전력을 유지하기 위하여 4kW의 전력을 출력하여 잘 유지되는 것을 확인할 수 있으며 효과적으로 동작됨

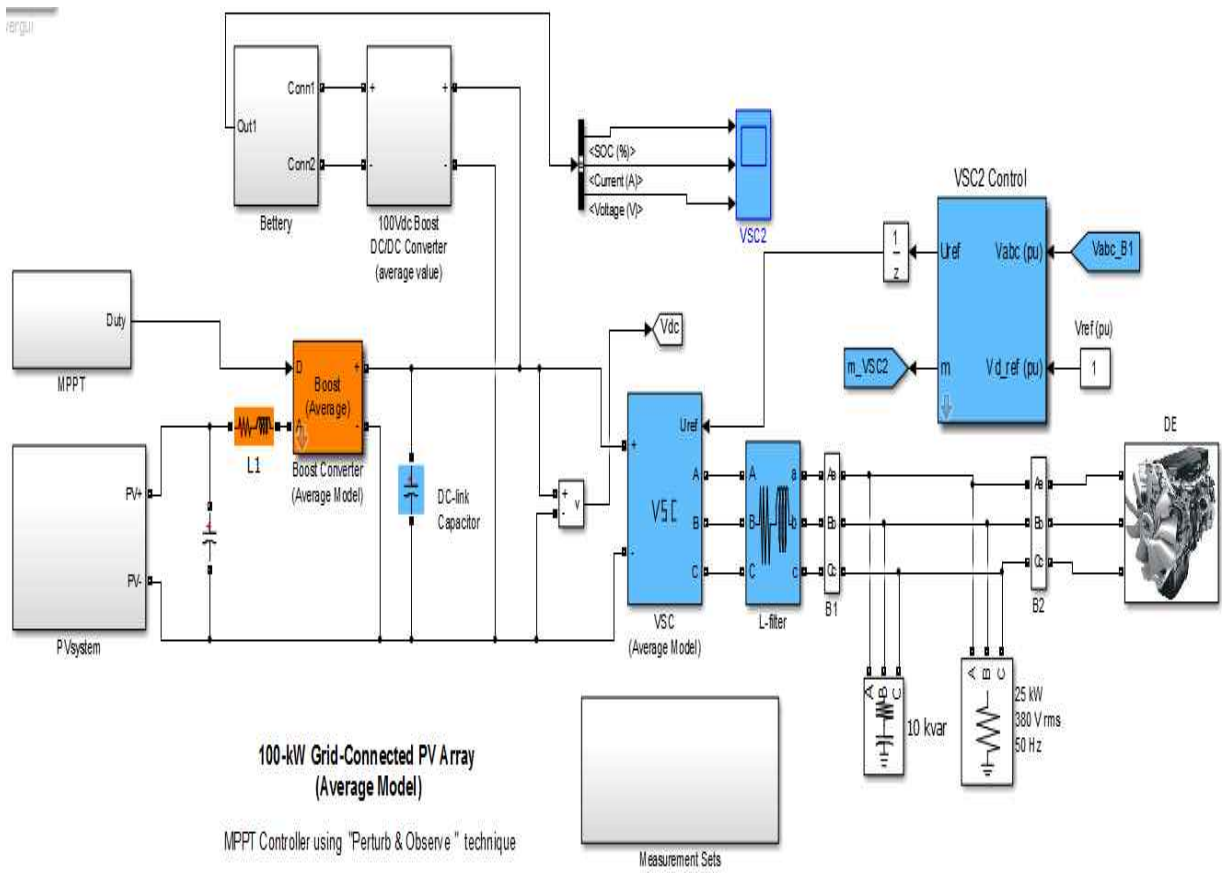

그림 7. Hybrid 발전시스템 (PV+DE+Battery)
Fig. 7. Hybrid energy System (PV+DG+Battery)

을 알 수 있다. 이는 제어기의 부하의 급격한 변동에서도 디젤 발전기의 출력특성이 매우 양호하게 대응하고 있음을 알 수 있다. 특히 부하의 급격한 변화에서도 계통의 전압은 일정하게 유지되고 있음을 알 수 있다.

4.1 시뮬레이션을 위한 파라메타

본 하이브리드에너지시스템을 구성요소의 중요한 파라메타는 표 1에 나타내었다. 여기서 중요한 파라메타 값은 계통전압은 380V이고 발전기 극수와 발전기 용량은 각각 3.125MVA와 4극의 동기발전기를 선정하였다. 또한 시뮬레이션에 사용한 파라메타는 표 2, 표 3 및 표 4에 각각 표시하였다.

표 2. 동기발전기 파라메타
Table 2. Synchronous generator parameters

Parameters	Values
Nominal Power	3.125MVA
Line to Line Voltage	380V
Frequency	60Hz
Stator resistance	0.0036(p.u)
inertia constant	1.07
pole	4
d-axis synchronous reactance(Xd)	1.56(p.u)
q-axis synchronous reactance(Xq)	1.06(p.u)
leakage reactance(XI)	0.052(p.u)

표 3. 디젤엔진과 조속기의 파라메타
Table 3. Diesel engine & governor parameters

Diesel engine, governor & power system	
Parameter	Value
C1, C2, C3	0.8, 0.1, 0
K1, K2	1.0, 1.0
τ_1, τ_2	0.25, 0.2
Inertia constant, H	1.07puMW.s/Hz
Damping constant, D	0.008puMW/Hz
Speed regulation, R	2.5Hz/puMW

표 4. PV 에레이 파라메타
Table 4. Parameters of PV array

PV system Parameters	Values
The number of series modules per string (N_s)	12 (96 cells per modules)
The number of parallel modules per strings (N_p)	17
Ideality or completion factor (α)	1.25
Boltzmann's constant (k)	1.3805e23 J/K
PV cell temperature (T)	298K
Electron charge (q)	1.6e-19 C
Short-circuit modules current (I_{sc}) (A)	5.96
Open circuit voltage (V_{os})	64.2

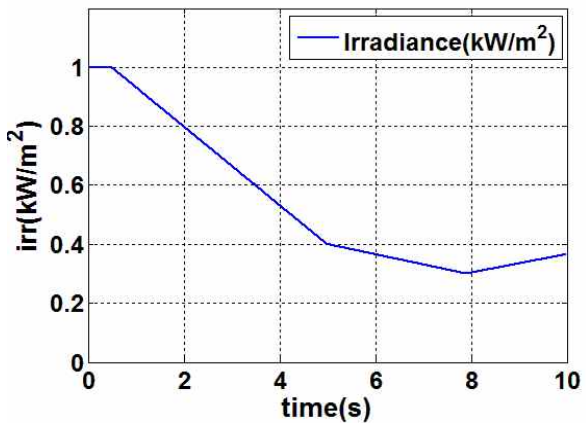

그림 8. 태양광 시스템의 일사량
Fig. 8. Irradiance of PV array

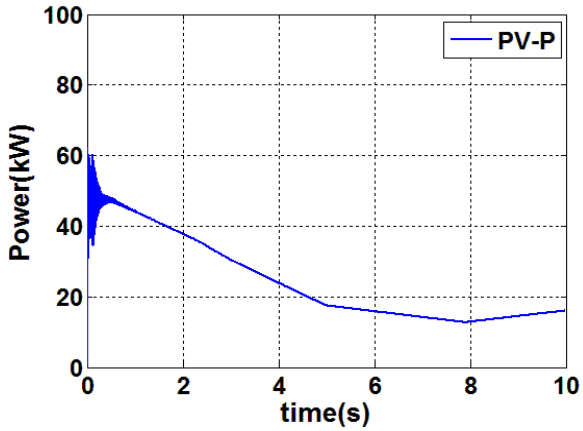

그림 9. 태양광시스템의 출력
Fig. 9. Power output of PV array system

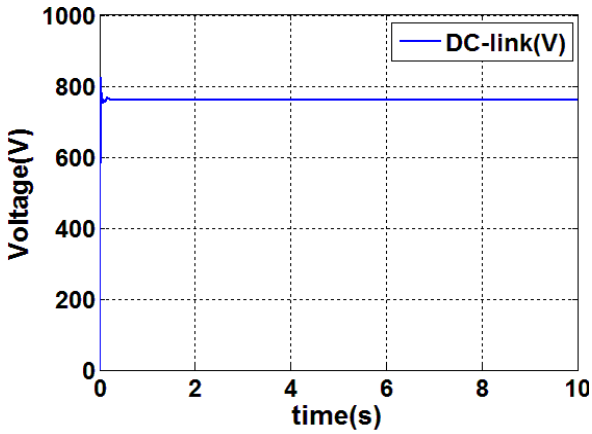

그림 10. DC-링크 전압
Fig. 10. DC-link voltage

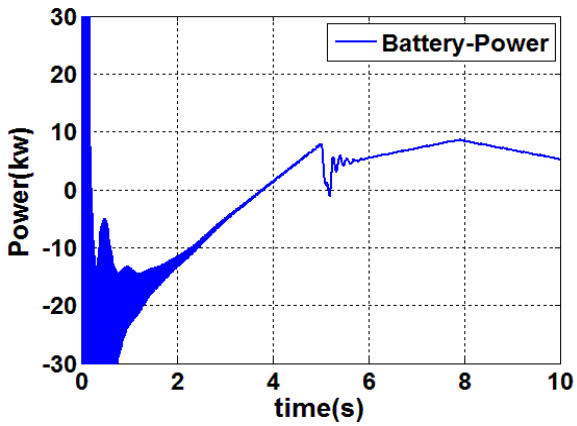

그림 11. 배터리의 전력 변화 곡선
Fig. 11. Power variation of battery

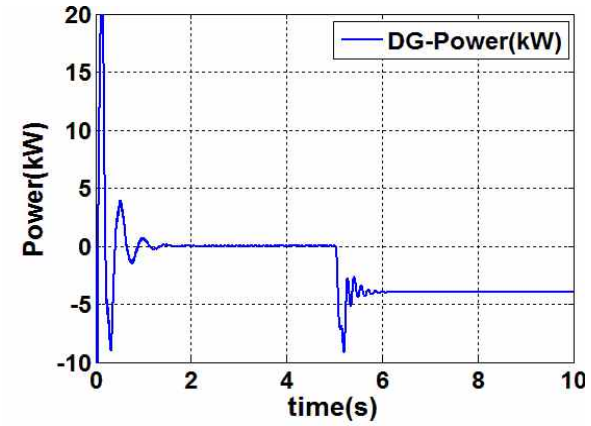

그림 12. 디젤동기 발전기의 출력
Fig. 12. Power output of Diesel synchronous generator

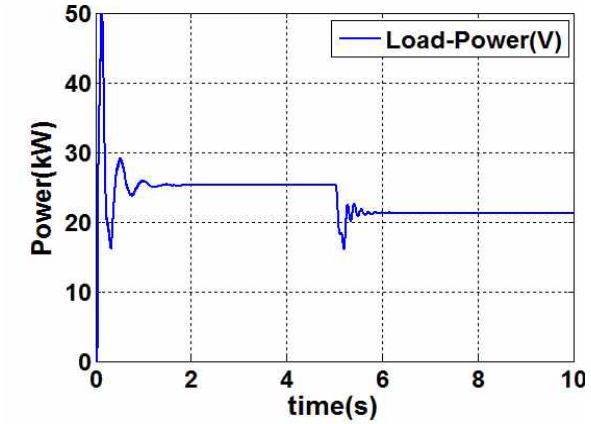

그림 13. 부하 전력 곡선
Fig. 13. Demand power

6. 결 론

디젤비상발전기 전력자원 창출을 위한 가까운 미래에 빌딩마이크로그리드의 구현과 일사량이 양호한 도서지역의 하이브리드 에너지시스템의 구축을 위한 독립운전시스템의 운전특성을 분석한 결과는 아래와 같다.

(1) 디젤동기발전기, PV시스템 및 배터리로 구성된 하이브리드에너지시스템의 Matlab/Simulink 디젤발전기의 상세모델을 개발하고 하이브리드에너지 시스템의 통합 독립운전제어를 위한 알골리즘을 개발하고 이를 시뮬레이션을 통하여 특성을 분석하였다.

(2) 도서지역의 기존에 설치된 디젤발전기를 활용하기 위한 PV와 배터리시스템의 인버터에 의한 AC 버스에 접속하고 디젤발전기와의 AC 버스와의 병렬하이브리드 통합운전에서도 안정적인 운전특성을 확인하였다. 이는 현재의 도서지역 마이크로그리드 구축 사업에 유용한 기술적인 정보를 제공할 수 있을 것으로 판단된다.

추후 연구에서는 다양한 운전 패턴을 상정하여 그 특성을 분석하고 또한 디젤발전기의 운전에 따른 연료비와 운전시간의 최소화방안을 현장적용을 위한 경제성 관점에서 분석을 할 예정이다.

Acknowledgements

The authors would like to gratefully acknowledge the financial support of KESRI (Korea Institute of Energy Technology Evaluation and Planning) under project 2013T100200078.

References

[1] N. D. Hatziargyriou, H. Asano, R. Iravani, and C.Marnay,, "Microgrids", IEEE Power Energy, Vol. 5,Issue 4, pp.78-94, July-Aug. 2007.
[2] N. D. Hatziargyriou, "Microgrids", IEEE Power Energy, Vol. 6, Issue 3, pp.26-29 , May-June 2008.
[3] http://www.artemis-ioe.eu/
[4] R. Lasseter, et. al., "White Paper on Integration of Distributed Energy Resources - The CERTS MicroGrid Concept", Office of Power Technologies of the US Department of Energy, April 2002.
[5] A.G. Tsikalakis, and N.D. Hatziargyriou, "Centralized Control for Optimizing Microgrids Operation", IEEETrans. Energy Convers., Vol. 23, Issue 1, pp.241 - 248, March 2008.
[6] S.G. Malla, "Enhanced operation of stand-alone" Photovoltaic-Diesel Generation-Battery "system", Electric Power System Research 107, pp.250-257, 2014.
[7] A. Elmitwally, "Flexible Operating Strategy for an Isolated PV-Diesel Microgrid Without Energy Storage", IEEE Teans. on Energy conversion, Vol. 26, NO. 1, pp. 235-244, March 2011.
[8] Won-Pyo Hong, "Power Resources Utilization and Managements", KIIEE Magazine, Vol.28, No. 1, pp. 43-49, 2014.
[9] J.M. Daley, "Utilizing Emergency and Standby Power for Peak Shaving", IEEE TRANS. on INDUSTRY APPLICA-

TIONS, VOL. IA-18, NO. 1, JANUARY/FEBRUARY 1982.
〔10〕 W.P. Hong, "Utility-Interactive Operation for Utilizing Demand Response Resources of Customer Owned Generator in Apartment Buildings", The Proceeding of 2013 KIIEE Autumn Conference, pp.128-130, 2013. 11.20.
〔11〕Won-Pyo Hong, "Utility-Interactive Operation for Utilizing Demand Response Resources of Customer Owned Generator in Apartment Buildings", Proceedings of 2013 KIIEE Autumn Conference,pp. 128-130, 2013.
〔12〕 J.M.Daley, R.Castenschiol, Utilizing Emergency & Standby Power for Peak Shaving,IEEE Trans. on IA, Vo.18, No.1, Jan/Feb., 1982.
〔13〕 EPRI, Customer Backup Generation: Demand-Sise Management Benefits for Utilities and Customers, 1991.
〔14〕 KEPCO Economy & Management Reaearch Institute, "A Study on Utilization of Customer Owned Generators for Demand Side Management", 2012.1.5.
〔15〕 Il-Yop Chung, "Power Control Methods for Microgrid with Multiple Diatribution Generators", Trans. KIEE, Vol.57, NO.4, pp. 582-588, April, 2008.
〔16〕 W. P. Hong, "A Multiagent-Based Hybrid Power Control and Management of Distributed Power Sources", Journal of KIIEE, Vol.25, No.8, pp. 70-81, August 2011.
〔17〕 Jae Jin Seo, Power Balancing Strategy in the Micro grid During Transient "Trans." KIEE. Vol. 59, No. 4, APR, pp. 707-714, 2010.
〔18〕 Bong-Suck Kim "Economic Evaluation between Diesel vs Renewable Energy for Remote Islands", Proceeding of 2011 KIEE Summer Conference, pp. 584-585, 2011.
〔19〕 A. Urtasun, "Energy management strategy for a battery-diesel stand-alone system with distributed PV generation based on grid frequency modulation", Renewable Energy, Volume 66, Pages 325 - 336, June 2014.
〔20〕 R.Dufo-Lo´pez, "Design and control strategies of PV-Diesel systems using genetic algorithms", Solar Energy 79, pp. 33 - 46, 2005.
〔21〕 MathWorks, SimPowerSystem-Synchronous Machine.
〔22〕 S. Roy, "A K-step predictive scheme for speed control of diesel driven power plants", Trans. on Industry Applications, Vol. 29, No.2, pp. 389-395, March/April, 1993.
〔23〕 T.I. Mina, "A detailed study of the start and run-up behavior of multi-cylinder direct injection diesel engine", Inst. Mech. Eng., Paper C372/011, 1989.
〔24〕 IEEE Recommended Practice for Excitation System Models for Power System Stability Studies, IEEE Std 421.5-1992.
〔25〕 http://www.mathworks.co.kr/kr/help/physmod/sps/powersys/ref/excitationsystem.html
〔26〕 J. H. Cho, et al, "Renewable Source and Hybrid System Modeling for Smart Grid", Journal of KIIEE, Vol.24, No.12, pp. 109-121, December 2010.

◇ 저자소개 ◇

홍원표(洪元杓)
1978년 숭실대 전기공학과 졸업. 1989년 서울대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1979~1993년 한전 전력연구원 선임연구원. 2007~2008년 UBC 방문교수. 현재 한밭대학교 설비공학과 교수. 본 학회 편수위원장. 주요 연구분야는 필드버스제어네트워크 적용기술. Smart Green Building, Building Microgrid 및 Smart space 구축기술임.