빌딩마이크로그리드시스템용 하이브리드에너지시스템 전력제어 및 운영

(Power control and operation of Hybrid Energy System for Building Micro-Grid)

조 재 훈(충북대학교) * · 홍 원 표*(한발대학교)

(Jea · Hoon Cho, Won-Pyo Hong)

Abstract

In this paper, we propose to research the possibility of using a photovoltaic system and supercapacitor combined with a high speed microturbine. This hybrid energy system work as atand-alone mode or grid-connected mode as it will be a part of building micro-grid. Simple dynamic models of photovoltaic, microturbine systems and supercapacitor banks are proposed. their models are developed by Matlab/Simulink tool. Two important results are carried out to find power control effectiveness in case of with supercapacitor bank and without one. At least, simulation results show the effectiveness on the power control at AC busbar of hybrid energy system as building micro-grid system.

1. 서 론

마이크로그리드(Microgrid)는 소규모분산에너지원(Microsource or Distributed Energy Resource: DER)들이 수요지에서 하나의 작은 그리드를 형성하여 전력 및 잉여 열에너지를 생산하여 수요자에게 직접 공급하는 새로운 개념의 소규모 전력시스템으로서 유티리티 그리드(grid-connected)에 연계 혹은 분리되어 독립운전(islanding operation)이 가능한 시스템이다[1-3].

소규모 분산에너지 시스템은 DER의 범주에 포함되며 빌딩을 단위로 구성되는 DER은 특히 열병합(CHP: Cooling, Heating and Power)시스템이 에너지이용률향상과 에너지자원의 유효이용 및 환경부하감축과 열오염방지를 위하여 선택이 불가피하며 이러한 관점에서 빌딩의 CHP를 BCHP(building cooling heating and power)시스템으로 정의하였으며 신재생에너지시스템으로 건물에 도입되고 있는 태양광, 태양열, 지열 및 풍력발전시스템을 포함한 마이크로그리드의 새로운 에너지시스템을 빌딩용 마이크로그리드로 정의 할 수 있다[5-6].

이러한 DE시스템의 계통적용으로 전력시스템에 다양한 분산에너지시스템이 보급됨에 따라서 전력품질 및 신뢰도에 미치는 영향 등을 무시할 수 없게 되었으며 또한 소규모 빌딩단위로 도입된 분산에너지시스템(BCHP 시스템+신재생에너지시스템)은 빌딩내의 열수요와 통합된 제어 및 관리가 병행되어야하는 어려운 과제를 가지고 있다. 현재 거주건물의 수용가도 수동(passive)네트워크에서 능동(active)네트워크로 크게 변모하고 있다. 종래의 소규모 분산전원을 가지는 수용가의 전력·에너지시스템의 제어 및 관리는 계층적 분산제어 혹은 집중제어관리방식에서 현재의 능동네트워크에 걸 맞는 분산화된 지능 제어관리시스템을 요구하고 있다. 즉, 종래에 중앙집중방식으로 관리하는 기능들인 부하관리, 네트워크 복구 결정, 발전기최적구성과 급전, 에너지의 합리적 이용 및 통합적 관리 등이 분산화된 지능형 협조관리방법으로 전환되어야 한다[7-10]. 이에 새로운 복합 전력에너지시스템서의 ICT(Information communication technology) 적용기술과 개방된 통신기능이 부가된 고속 마이크로프로세서기술 괄목할만한 진보 및 실시간 지능형알고리즘의 구현으로 인하여 유력한 대안기술로 검토되고 있는 것이 협조와 자율을 기반으로 하는 지능형 다중 에이전트를 이용한 제어·관리방법이다. 그러나 시장기반 제어·관리(market-based control and management), 현장의 기기제어 및 모니터링을 위하여 개방 프로토콜이 임베디드된 강력한 지능형 제어기 및 IED(intelligent electronic devices)의 활용, ICT기반 인프라를 활용한 환경의 다양한 변화에 능동적으로 응동하기 위하여 협력(cooperation), 조정(coordination) 및 협상(negotiation)기능을 가진 새로운 개념의 에이전트를 분산 및 계층분산화한 다중에이전트를 이용한 복합 전력에너지시스템에서의 활용에 주목을 받게 되었다[11]. DE시스템제어 및 운영에 현재 적용이 검토되고 있으며 유럽과 미국을 중심으로 활발한 연구개발이 진행되고 있다[12-13].

필드의 제어 및 운전관점에서 DG시스템은 DC 또는 고주파교류로 계통연계를 위하여 파워컨디션닝(power conditioning system: PCS)적용이 불가피하고 전력소자의 빠른 응답특성과 제어방식의 다양성과 함께 기계적관성이 거의 없어 빠른 출력변화를 나타내게 된다. 이를 위하여 여러 마이크로소스의 선정 및 전기저장장치와 통합하여 제어전략과 운영방식을 결정하는 것이 매우 중요하며 이에 대한 연구는 시작단계에 있다. 마이크로그리드를 구성하는 마이크로소스는 무효전력과 유효전력이 독립적으로 제어가 가능하며 전압제어 등 전력품질 등을 유지할 수 있는 전압형인버터(voltage source converter: VSC)를 채용하여 마이크로그리드 운전이 광범위하게 이루어질 것으로 예상된다. 마이크로그리드는 광의에서 전자적인 인터페이스(electronically interface)를 가진 분산에너지(EI-DE) 시스템이라 볼 수 있다[14]. PCS는 마이크로소오스을 계통에 연계시키는 장치로 유효전력과 무효전력의 흐름을 신속하게 제어하게 된다. 또한 각 마이크로소스의 응답속도는 수초-수십 초 정도로 느린 응답특성을 가지고 있어 부하변동에 따른

응답특성을 개선하고 계통외란을 일시적으로 보상하기 위하여 에너지 저장장치의 채용이 보편적으로 권장된다. 독립운전모드에서는 부하의 전압과 주파수를 일정값으로 유지하기 위한 V-f특성의 제어모드를 가지며, 계통연계(grid-connected)모드에서는 P-Q제어방식을 기반으로 계통과 부하에 적정주파수, 전압 및 전력품질측면에서의 다양한 제어방식 및 PE 토폴리지를 채용하고 있다[15-17]. 따라서 본고에서는 빌딩을 중심으로 하는 소형 마이크로그리드로의 적용이 가능한 마이크로터빈, 태양광발전 및 슈퍼캐패시터의 마이크로소오스를 AC버스에 연결하여 운전하는 복합에너지시스템의 제어 운영기술을 분석하고자 Matlab/Simulink 모델을 개발하고 전력운전 특성을 분석하였다.

2. 복합하이브리드에너지시스템 모델링

2.1 시스템 구성

본 연구는 다기기 네트워크 내에서 PV, MTG 및 슈퍼캐패시터(UC)로 AC부스바에 연결된 시스템의 동적 모델의 개발과 모의를 통하여 일정전력 운전특성을 얻을 수 있도록 제어시스템과 하이브리드시스템모델링에 중점을 두었다. 하이브리드 AC-결합하이브리드 전력시스템을 기반으로 시스템을 구성하였다. PV 및 MTG시스템의 마이크로소오스의 DC전력은 각각의 VSC의 PE에 의하여 계통에 연계되어 있다. 이 시스템의 장점은 마이크로소오스는 필요에 의하여 VSC의 용량에 관계없이 시스템의 용량증가가 손쉽게 이루어 질 수 있는 장점을 가지고 있다. 그림 1은 PV/MTG/UCB마이크로그리드 구성을 나타낸 것이다. 이 빌딩용 소규모 마이크로그리드는 17.3kW PV시스템, 30kW MTG시스템 및 18F/480V Maxwell 캐패시터뱅크로 각각 구성되어 있다. 이 AC 하이브리드 시스템은 각각 개발한 모델을 바탕으로 하이브리드 시스템을 구성하여 전력제어 특성을 연구하였다. 연구방법은 우선 MTG/PV하이브리드시스템 전력제어특성에 대하여 연구했으며 다음은 MTG/PV/SCB하이브리드 시스템을 구성하여 SCB가 하이브리드의 전력변동에 안정하게 응동하는지를 고찰하였다. 즉 마이크로그리드가 중요한 부하에 있어서 전력변동을 효과적으로 억제라기 위하여 UCB가 매우 큰 역할을 할 것으로 예상한다.

이 하이브리드 시스템은 각 마이크로그리드의 중요한 DE유니트의 모델링 및 특성분석을 기반으로 통합된 하이브리드시스템의 PV가 제어가 불가능한 전원이기 때문에 일사량에 따라 MPPT로 최대 출력을 낼 수 있도록 제어하고 MTG 및 SCB가 전력변동을 억제하는 DE유니트로 그 전력제어 특성을 분석하는 데 주안점을 두었다. MTG는 비교적 장시간의 전력안정에 기여하고 SCB는 단시간의 전력변동을 억제하도록 구성하였다.

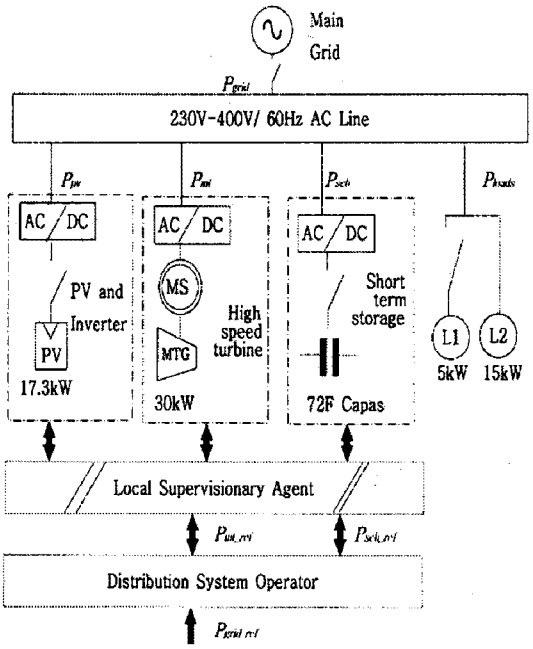


그림 1 PV/MTG/UC 마이크로그리드 제어 구성

(2) PV 시스템 모델링

1) PV시스템의 사양 개요

연구에서 사용한 태양광어레이의 제어 구성은 그림 2에 나타내었다. 이것은 BP solar 3160 모듈(160Wp)로 구성되어 있으며 이 모듈들은 3상 계통에 6개의 인버터에 의하여 연결되어 있다. 전체의 PV 어레이의 출력은 17.3kWp이며 출력조정을 유연하게 할 수 있게 여러대의 인버터를 사용하는 것으로 모의 하였다.

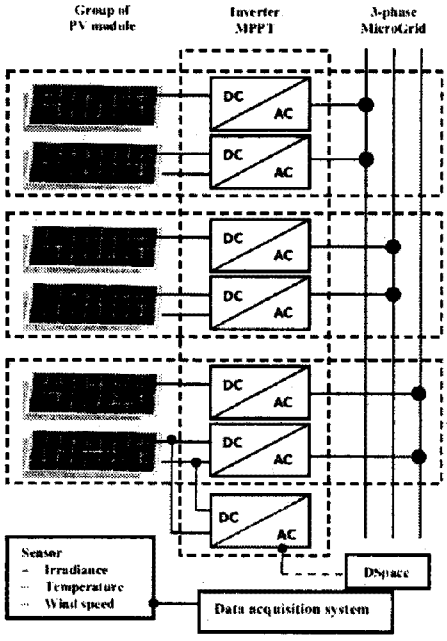


그림 2 PV어레이 및 제어시스템 구성도

2) PV의 모델링

태양광의 전형적인 등가회로는 그림 3에 보는 바와 같이 1개의 다이오드가 병렬로 연결된 전류원으로 나타낼 수 있다. 1개의 다이오드모델은 4개의 구성요소를 가지

고 있다: 광발전 전류 I_{ph}, 전류원과 병렬로 연결된 다이오드(I_d, V_d) 직렬저항 R_s, 병렬저항 R_{sh}. 대부분의 경우에 5개의 파라메타를 p-n 정션의 지수함수방정식 때문에 수학적으로 얻기 어렵다. 본 연구에서는 [19]에서 제시한 R_{sh}을 무시한 간략화된 모델을 사용하였다. 이 모델은 4개의 파라메타가 필요하고 여기서는 3개의 조건아래 사용 PV-모듈로부터 얻을 수 있다. 3가지 조건은 태양전지 단락전류 I_{SC}, 개방회로전압 V_{oc}, 그림 4의 최대 전력점(MPP)에서의 최대동작전류 I_{mpp}, 및 최대동작전압 V_{mpp}이다. 전압함수로서의 태양전지 셀 전류는 식(1)과 같다.

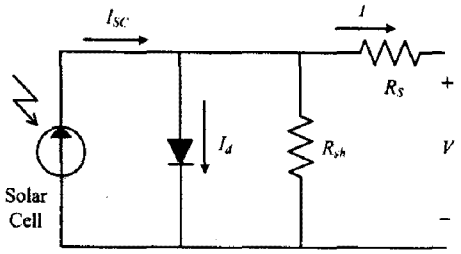


그림 3 태양전지 등가 회로

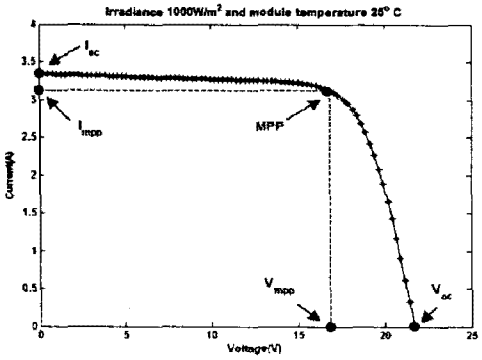


그림 4 PV모듈의 I-V 특성

$$I = I_{sc} - I_0\left(\exp\left[\frac{V + IR_s}{nV_T}\right] - 1\right) \quad (1)$$

$$I_{ph} = I_{sc} = I_{sco}\left(\frac{S}{S_{as}}\right) + J(T - T_s) \quad (2)$$

개방회로 조건에서 개방회로 전압은

$$V_{oc} = V_{ocs} + \Delta V_{oc}(T - T_S) \quad (3)$$

여기서, T_s = 기준(표준)온도(298[K])

I_{sco} = 기준온도에서의 단락전류[A]

S = 일사량[W/㎡]

J = 단락전류의 온도계수[A/K]

S_{as} = 표준 일사량, 1,000[W/㎡]

$$I_0 = \frac{I_{sc}}{\exp\left[\frac{V_{oc}}{nV_T}\right] - 1} \approx I_{sc} \cdot \exp\left[-\frac{V_{oc}}{nV_T}\right]$$

$$I_0 = AT^{\gamma} e^{\left(-\frac{E_g}{nKT}\right)}$$

여기서, V_{oc} = 태양전지개방전압 [V]

V_{ocs} = 기준온도에서 개방전압[V]

ΔV_{oc} =개방전압 온도계수

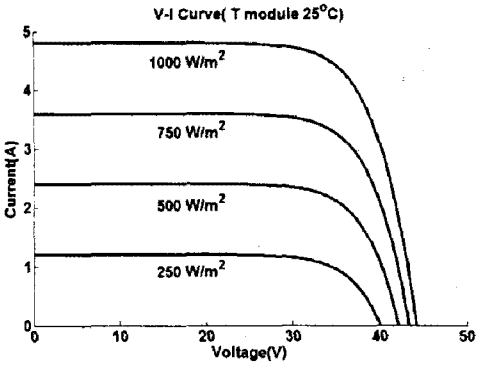
A = 포화전류 온도계수

T = 온도의존 인자 (일반적으로 3)

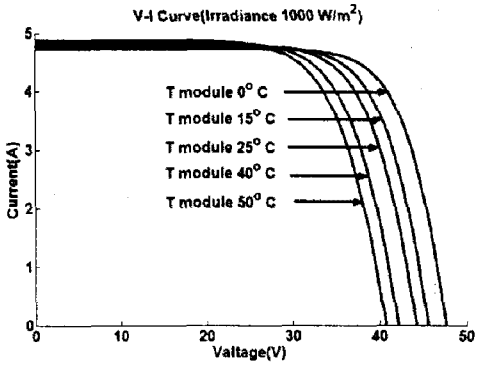
E_g = 밴드(band)에너지 갭[eV], 1 eV = 1.6 e^{-19} [J]

$$I_A = N_p I_{sc} - N_p I_0\left(\exp\left[\frac{V_A + I_A R_s}{n N_s V_T}\right] - 1\right) \quad (4)$$

그림 5는 BP사 (BP solar 3160 modules) 태양광 모듈의 I-V 특성을 나타낸 것이다.



(a) 다 일사량조건(기준온도 25℃)



(b) 다른 온도 레벨에서의 특성(1000W/㎡)

그림 5 BP사 태양광 모듈 I-V특성

(3)슈퍼캐패시터 모델링

The 144F/48V ELDC는 에너지를 161kJ(44.8W.Hr)저장 능력을 가지고 있다. 이는 18개의 슈퍼캐패시터셀과 부스바 및 통합밸런싱회로를 가지고 있다. 2개의모듈이 직렬로 연결하여 하이브리드시스템에 특성해석에 원하는 전압과 에너지저장용량을 얻었다. 표 2는 모듈특성을 나타낸 것이다. UCB는 그림 6과 같이 슈퍼캐패시터(SC), SC필터, 쵸파, DC버스, 인버터 및 계통연계 (grid)필터로 구성되었다. 그림 7은 SCB 모델링을 위한 상세 블럭도로 Matlab/Simulink 모델의 각 구성 요소를 제어 블

력으로 나타낸 것이다.

표 2 슈퍼캐패시터 사양

Parameters	Value
Capacitance(C_0)	144F + 20% initial
Voltage	48.6 Volts DC Max.
DC Resistance (R_s)	11mΩ Max., initial
Capacitor Cycle	1,000,000
Operating temperature range	-40℃ to +65℃

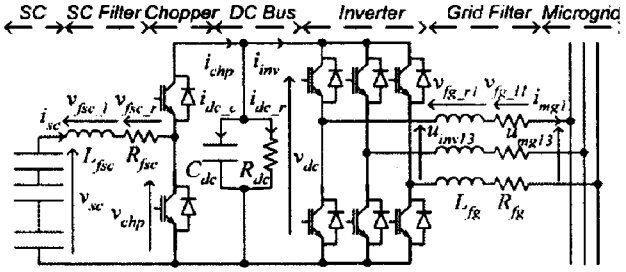


그림 6 SCB 그리드 연계 시스템 구성도

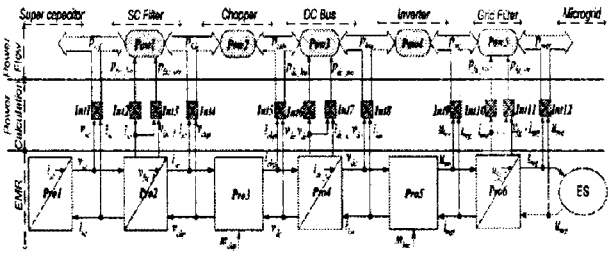


그림 7 SCB 모델링을 위한 블럭도

3. 복합하이브리드에너지시스템 제어시스템

(1) PMS(Power Management Strategy)구성

전력을 제어하기 위하여 PMS(Power Management Strategy)구성도를 그림 8과 같이 나타내었다. 이 3개의 계층구조를 가지고 있으며 상위계층에는 PMS이고 중간 레벨에는 PMS의 명령을 받아서 실제적인 전력제어를 수행하는 제어레벨 마지막으로 하위레벨은 로칼제어기로 중간레벨의 제어기로부터 명령을 받아 실제 제어를 실행하는 레벨이다. 이 DE유니트의 PE시스템 제어블럭은 MTG시스템에 MT자체의 동특성을 나타내는 온도제어, 속도 조속기, 연료제어, 터빈동특성 및 가속도제어블럭으로 구성되어 있다. 또한 PMSM의 전기적 기계적 동특성을 모델링하였다. 기기측의 AC/DC 컨버터 제어기와 계통측 DC/AC 컨버터(VSI)제어기로 구성되어 있어 MTG시스템의 전력시스템 제어는 매우 복잡하고 제어기의 이득선정과 튜닝하는 방법 등 매우 어려운 작업이다. 따라서 복합시스템 전력제어를 사고 및 외란으로부터 안정하게 수행하기 위한 다양하고 지속적인 연구가 필요하다. 그림 14는 MTG의 제어로직과 VSI 제어시스템 구성도를 나타낸 것이다. PMS을 수행하는 방법으로는 통신을 이용하는 방법과 물리량 데이터와 신호정보를 이용하여 수행하는 2가지 방식을 채택할 수 있으며 본 연구에서는 후자를 선택하여 구성하였다. PMS에서의 기능은 전체 마이크로그리드의 유효전력 통합제어를 위한 운영시퀀스의 결정 이에 관련된 제어기의 선택, 단독운전 모드에서의 드룹설정, MTG의 그리드연계 모드와 단독운전 모드의 선택, 각 DE유니트의 유·무효전력 설정값 선정 및 부하제어 등을 수행한다. 본 연구에서는 설정값 명령을 통한 유효전력제어에 주안점을 두고 각각의 DE유니트의 유효전력 제어특성과 외란에 대한 AC그리드(PCC)의 전체 유효전력 일정한 공급능력에 대하여 연구하였다.

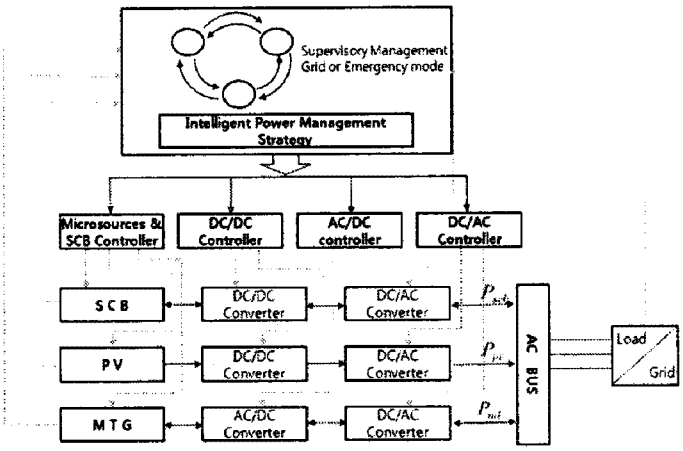


그림 8 하이브리드 시스템의 제어를 위한 PMS 구성도

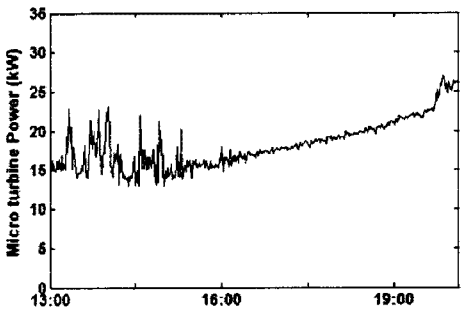
4. 복합에너지시스템 전력제어 모의

(1) 하이브리드시스템 모의 및 특성분석

1) 전력제어모의

• PV-MTG 하이브리드시스템 모의 (SCB를 사용하지 않는 경우)

그림 9 전력의 기준출력을 28kW로 설정했을 경우 PV와 MTG시스템의 발전전력 패턴을 나타내고 있다. 이 경우 MTG는 PV출력 변동을 잘 보상하고 있는 것을 알 수 있다.



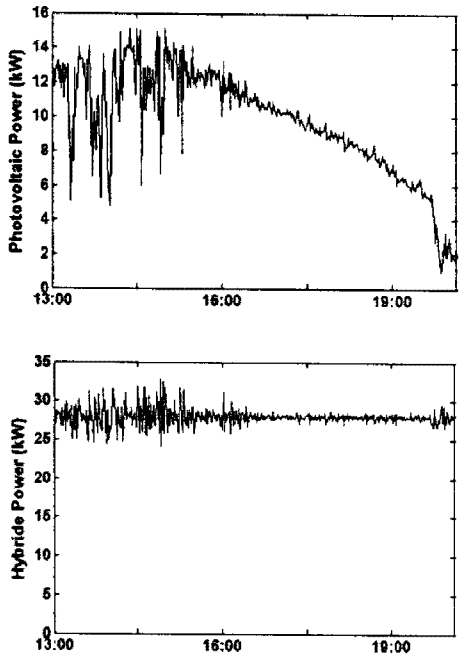
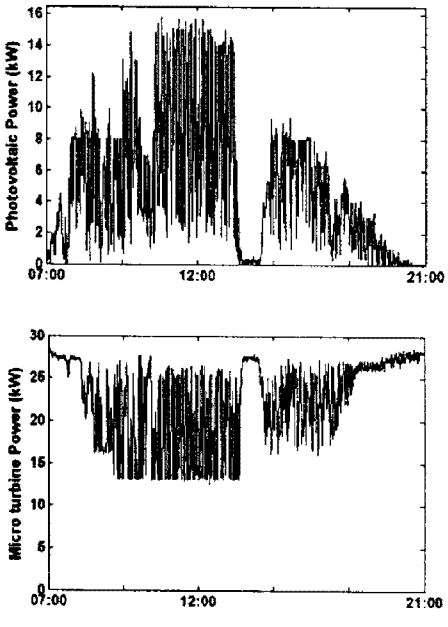


그림 9 PV/MTG 마이크로그리드 전력 패턴

• PV-MTG-UCB 하이브리드시스템 모의 (SCB를 사용하는 경우)

기준 전력을 29kW로 설정하고 SCB를 PMS에서 투입하는 경우의 일정 전력제어를 모의하였다. PV전력은 일사량의 변화에 의하여 최고 17kW에서 약 2kW까지 변화하는 것을 알 수 있다. 이때 기준전력 28kW을 일정하게 유지하기 위하여 비교적 긴 시간에 걸쳐 13kW에서 26kW에서 유효전력을 발생시켜 PV의 전력변화를 잘 보상하고 있으며 SCB는 하이브리드 전력의 일정전력제어를 위하여 짧은 시간 영역에서 동작하고 있음을 알 수 있다. 여기서 사용한 SCB의 용량은 약 23kW(400V)였다.



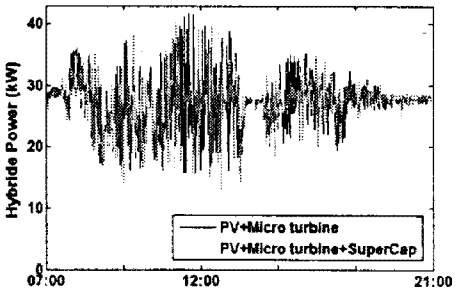


그림 10 PV/MTG/SCB 하이브리드 시스템 전력 모의 패턴

4. 결 론

빌딩마이크로그리드에 적용하기 위한 복합신에너지 시스템의 Matlab/Simulink 모델을 개발하고 그 유효성을 증명하기 위하여 모의를 통하여 이 시스템의 특성을 분석하였다. 이 결과 슈퍼캐패시터는 짧은 시간에 발생하는 전력변동에 매우 효과적인 장치임을 확인하였다. 본 동적 마이크로터빈, 슈퍼캐패시터 및 태양광발전시스템 모델은 마이크로소스 및 복합에너지시스템 해석에 유효하게 사용할 수 있을 것으로 판단된다. 앞으로 수퍼캐패시터가 포함된 전력관리시스템(PMS) 알고리즘을 개발하여 이 해석모델에 적용하고자한다.

Acknowledgment

The authors would like to gratefully acknowledge the financial support of KESRI (Korea Electrical Engineering & Science Research Institute) under project R-2007-1-015-02

참 고 문 헌

[1]홍원표, "Multi-agent 기반 분산에너지시스템 기초운영연구 (2차년도)," 2009년 지경부 보고서(기초연), .2009.6.

[2] N. Hatziargyriou, "Microgrid", IEEE power & energy magazine, pp. 78-94, Jul/Aug. 2007.

[3] R.H. Lasseter, "Providing Premium Power through Distributed Resource", Proceeding of the 33th Annual Hawaii International Conference on System Sciences, PP. 1437-1445, Jan. 4-7 2000.

[4] R.H. Lasseter, "White Paper on Integration of Distributed Energy Resources, The CERTS Microgrid Concept," in consortium for electric Reliability Technology Solution, pp. 1-27, April.

[5] R.H. Lasseter, "Microgrid", IEEE Power Engineering Society Winter meeting, 2002, Vol. 1, pp.305-308, Jan., 27-31 2002.

[6]. F.A.Farret,"Integration of Alternative Source of Energy", Wiley interscience,2006.

[7] C. Marnay & et al.,"Optimal technology Selection and Operation of Commercial-Building Microgrids",LBNL-6231, Jan. 2007.

[8] M. WooldRidge, "MultiAgent Systems", John Wiley & Sons Ltd, 2002.

[9] 손광명, " Modeling and Analysis of the Microgrid with SVPWM Micro-source", KIIEE Journal, Vol. 20, No. 3, pp. 12-19, March 2006.

[10] O. Fethi, "Modeling and Simulation of the Electric Part of a grid Connected Micro Turbine", HNU download from IEEE Xplore.