

풍력 복합발전 시스템을 위한 멀티에이전트 제어

강승진¹, 고희상¹, 부창진², 김호찬^{3*}

¹한국에너지기술연구원, ²제주국제대학교 전기에너지공학과, ³제주대학교 전기공학과

Multi-agent Control for Wind Hybrid Power Systems

Seung-Jin Kang¹, Hee-Sang Ko¹, Chang-Jin Boo², Ho-Chan Kim^{3*}

¹Korea Institute of Energy Research,

²Department of Electrical Energy Engineering, Jeju International University,

³Department of Electrical Engineering, Jeju National University

요약 본 논문에서는 독립된 풍력 복합발전 시스템을 대상으로 시스템의 모델링과 다양한 환경에서 체계적으로 동작시키기 위한 멀티에이전트 기반의 제어방법을 제안한다. 멀티에이전트 제어는 풍력발전기, 디젤발전기, 배터리, 부하로 구성되는 새로운 형식의 하이브리드 제어방법이고, 풍속과 배터리의 충전상태에 따라 풍력 복합발전 시스템의 운전은 14개의 모드로 나누어 수행된다. 시뮬레이션 성능평가를 통해 제안된 알고리즘이 독립된 풍력 복합발전 시스템에서 다양한 풍속변화가 존재하는 경우에도 효율적으로 운전될 수 있음을 보여준다.

Abstract In this paper, the system modeling and multi-agent control algorithm in isolated wind hybrid power systems are proposed. The multi-agent control is a new type of the hybrid control method that is made up of wind turbine, diesel generator, battery, and dumpload. Fourteen different modes of operations of the wind hybrid power system are performed by wind speed changes and the SOC of battery. Simulation results show that the efficient operations under various wind variations in isolated wind hybrid power systems can be obtained using proposed algorithms.

Key Words : Bus frequency and voltage, modeling, multi-agent control, wind hybrid power systems

1. 서론

2011년 남아공 더반에서 열린 제17차 유엔기후변화협약(UNFCCC) 당사국 총회에서 2020년까지 모든 국가가 참여하는 새로운 기후체제 출범에 합의하였고, 이로 인하여 산업 부문별 또는 제품·설비에 대한 온실가스 감축 활동에 대한 요구가 강화되고 있다. 새로운 기후협약 이행 시 이산화탄소를 저감해야 하는데, 현재 건설 중인 신도시의 경우는 이산화탄소를 저감을 위하여 부분적인 신재생에너지 발전설비를 도입하도록 하고 있다[1]. 2014년 발표한 제2차 에너지기본계획은 2035년까지 총 에너지의 11%를 신재생 에너지로 보급하는 계획을 수립하였고, 공급방식도 대규모 집중식 발전설비 공급방식에서 탈피해

발전량의 15% 이상을 분산형 전원으로 공급하도록 하였다[2].

계통연계가 힘든 외지나 도서지역에서는 중앙계통으로부터 전력을 공급받기 힘들기 때문에 독립적인 발전 시스템이 필요하다. 이러한 독립적인 발전을 실현하기 위해 최근에 각광받고 있는 풍력 복합발전 시스템은 기존의 계통에서 국부적으로 운영되거나 독립적으로 운영되어 왔고, 전력을 복구하거나, 주파수 및 전압 유지, 유무효 전력 제어 등의 기능을 풍력 발전기와 디젤발전기, 배터리와 같은 분산전원들을 활용하여 실현한다.

일반적으로 풍력 복합발전 시스템은 풍력발전기와 디젤발전기를 기본으로 배터리와 덤프로드 등을 활용하여 제어기 역할을 하도록 구성한다. 풍력 복합발전 시스템

본 논문은 2014학년도 제주대학교 학술진흥연구비 지원사업에 의하여 연구되었음.

*Corresponding Author : Ho-Chan Kim(Jeju National Univ.)

Tel: +82-64-754-3676 email: hckim@jejunu.ac.kr

Received November 3, 2014

Revised December 3, 2014

Accepted December 11, 2014

은 실제로 복잡하게 구성되어 있어, 체계적인 제어 방법이 필요하고, 또한 일부 시스템의 고장으로 인한 정전 등의 문제가 생겼을 때 전체 시스템이 영향을 받는 문제가 발생한다[3]. 이러한 문제의 해결방안으로 나오는 것이 분산관리시스템으로 멀티에이전트(multi-agent system, MAS)라는 개념이 사용된다[4]. 시스템에 고르게 분산된 각 에이전트들은 주변의 정보를 모아 시스템의 상태를 진단하고 판단하여 다른 에이전트들과의 협동을 통해 원하는 목표를 이루도록 한다.

본 논문에서는 풍력 복합발전 시스템을 대상으로 멀티에이전트 기반의 제어방법을 제안하고 운영제어를 통해 시스템 관리의 효율성이 좋아짐을 확인하도록 한다. 이를 위해 풍력 복합발전 시스템 모델링과 멀티에이전트 시스템에 대하여 살펴보고, 풍력 복합발전 시스템에 적용할 수 있는 멀티에이전트 제어방법을 제안한다. 제안한 멀티에이전트 기반의 복합 풍력발전 시스템의 성능은 Matlab/Simulink 프로그램을 작성과 에이전트별 동작 특성과 시스템의 성능을 분석하도록 한다.

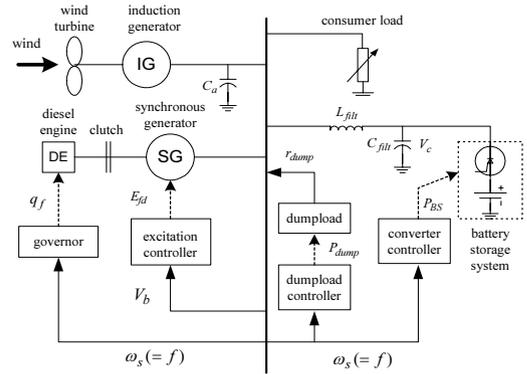
2. 풍력 복합발전 시스템 모델링

본 논문에서 고려한 풍력 복합발전 시스템은 유도발전기(IG) 기반의 풍력발전기, 디젤 엔진(DE)을 동력원으로 갖는 동기발전기(SG), 3상 사이리스터 브리지 컨버터를 포함하는 배터리, 저항 장치로 구성되어있는 덤프로드와 부하로 구성된다. 3상 덤프로드는 각상에 7개의 트랜지스터로 구성된다 [3].

풍력발전기의 출력이 부하에서 요구되는 전력을 충분히 공급할 수 있다면, 동기발전기는 디젤 엔진으로부터 분리되어지고, 전압 유지를 위해 동기콘덴서로 동작한다. 덤프로드와 배터리의 주요 목적은 시스템 주파수를 조정하는 것이다. 동기발전기는 전압제어를 위하여 여자기 시스템의 무효전력 제어기능을 수행하고, 유도발전기의 무효전력을 보상하기 위해서도 사용된다. 전압형 컨버터보다 비교적 간단한 구조의 전류형 컨버터는 배터리 시스템에 이용되는데, 이는 충전 전류가 배터리 수명에 큰 영향을 끼칠 수 있기 때문이다. 배터리의 완만한 충전은 DC 버스에서 큰 용량의 인덕터를 사용하여 전류의 변동을 최소화하면 가능하다.

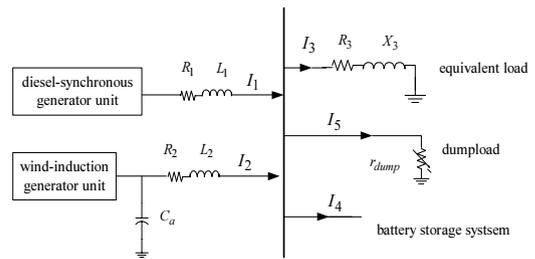
Fig. 1은 전반적인 풍력 복합발전 시스템의 구성을 보

여준다[3].



[Fig. 1] The overall control scheme of the wind hybrid power systems

Fig. 2는 전체 풍력 복합발전 시스템의 전기적인 등가 모델을 나타낸다[5].



[Fig. 2] Electrical system topology model

$d-q$ 변환된 유도발전기 및 동기발전기 전류요소에서 부하와 덤프로드의 전류 요소와의 차를 통해 전체 독립된 계통에서 안정적인 전류 균형을 이룰 수 있도록 한다.

Fig. 2에서 나타낸 전류값을 사용하여 표현하면 식 (1)과 같다.

$$\begin{aligned} I_{1q} + I_{2q} - I_{3q} - I_{4q} - I_{5q} &= 0, \\ I_{1d} + I_{2d} - I_{3d} - I_{4d} - I_{5d} &= 0 \end{aligned} \quad (1)$$

풍력 복합발전 시스템 유도발전기의 전류 요소는 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} I_{2q} &= I_{aq} + \omega_s C_a V_{ad} \\ I_{2d} &= I_{ad} - \omega_s C_a V_{aq} \end{aligned} \quad (2)$$

각각 장치들을 모델링한 전류식을 재배열하면 풍력 복합발전 시스템의 모델링은 식 (3)과 같이 행렬로 표현할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} \frac{R_3}{R_3^2 + X_3^2} + \frac{1}{r_{dump}} & \frac{X_3}{R_3^2 + X_3^2} + \frac{\omega_s C_f}{\omega_s^2 C_f L_f - 1} \\ -\frac{X_3}{R_3^2 + X_3^2} & \frac{R_3}{R_3^2 + X_3^2} + \frac{1}{r_{dump}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{bq} \\ V_{bd} \end{bmatrix} + (3)$$

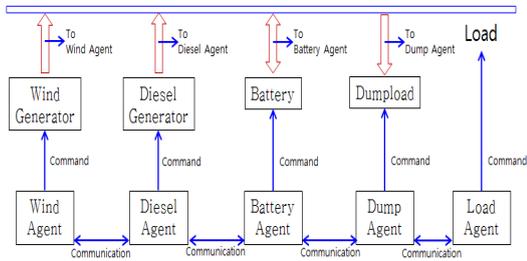
$$\begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{sq} \\ I_{sd} \\ V_{sq} \\ V_{sd} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & -\omega_s C_a \\ 0 & -1 & \omega_s C_a & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{aq} \\ I_{ad} \\ V_{aq} \\ V_{ad} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{I_{cq}}{\omega_s^2 C_f L_f - 1} \\ I_{cd} \\ \frac{I_{ed}}{\omega_s^2 C_f L_f - 1} \end{bmatrix}$$

여기서 C_f 와 L_f 는 배터리의 컨버터 인터페이스에 사용되는 커패시터와 인덕터의 값을 나타낸다.

3. 멀티에이전트 제어

3.1 멀티에이전트 시스템

풍력 복합발전 시스템을 대상으로 멀티에이전트 제어를 설계하기 위해서는 풍력 복합발전을 구성하는 요소에 대한 상태, 제어, 관리에 대한 각각에 대한 에이전트 설계가 필요하다. Fig. 3은 풍력발전기, 디젤발전기, 배터리, 덤프로드 그리고 부하 요소에 대한 각각의 에이전트를 나타내었다. 부하 에이전트를 통해 부하에서 요구되는 사용량을 확인한 경우에, 멀티에이전트 시스템은 풍력발전기의 출력을 확인하고 배터리 에이전트를 통해 안정적으로 전압과 주파수를 제어할 수 있도록 동작시킨다[4].



[Fig. 3] Multi-agent configuration in wind hybrid power systems

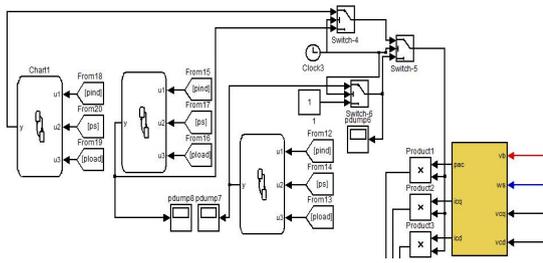
풍력 에이전트는 다른 에이전트들의 출력값 모니터링을 통해 현재 부하의 요구전력량, 배터리 에이전트로부터 배터리의 상태 등 데이터를 제공 받는다. 풍력발전기의 출력 전력량이 부하 에이전트의 전력 요구량보다 부족할 경우 풍력 에이전트는 디젤 에이전트에 디젤발전기의 발전을 요구하거나 배터리 에이전트에 방전을 요청한다. 반대로 풍력발전기의 발전량이 부하 요구전력량보다

높을 경우에는 풍력 에이전트는 배터리 에이전트에 충전을 요청할 수 있고, 배터리의 상태가 충전가능한 상황이 아닐 경우(완충상태) 덤프로드 에이전트에 작동을 요청할 수 있다. 그리고 상황에 따라서 배터리의 충전과 덤프로드의 동작을 함께 요청하는 경우가 발생할 수도 있다.

디젤 에이전트는 다른 에이전트들의 출력 상태를 모니터링하며 대기하고 있다가 풍력 에이전트와 부하 에이전트의 상태가 풍력발전량이 부하가 요구하는 전력량보다 부족한 경우가 발생하게 되면 디젤 에이전트는 디젤발전기의 동작을 명령하여 시스템에 부족한 전력을 분배하게 된다. 본 논문에서는 디젤발전기의 출력을 몇 개의 레벨로 맞추어 발전하도록 한다. 예를 들어 30 kW 용량의 디젤발전기를 미운전, 10 kW, 20 kW 그리고 30 kW의 4단계 레벨로 나누어 운전하도록 하는 것이다.

배터리가 풍력 복합발전 시스템에서 동작할 때, 배터리 에이전트는 풍력 에이전트와 디젤 에이전트, 부하 에이전트의 상태를 모니터링하고 내부 매커니즘에 의해 배터리의 SOC를 판단하여 배터리의 동작 여부를 결정하게 된다. 만약 배터리의 SOC가 방전을 할 수 없는 상태라면 배터리 에이전트는 동작을 거부하게 된다. 만약 배터리의 SOC가 방전을 할 수 있는 상태라면 배터리 에이전트는 방전을 시작하여 전력망에 부족한 전력을 공급해준다. 배터리의 SOC가 80%를 기준으로 충전속도가 많이 늦어지므로, 본 논문에서는 SOC가 80%에 도달하면 배터리의 충전 성능을 고려하여 배터리 에이전트는 덤프로드 에이전트를 호출하고 충전해야할 양의 일부를 덤프로드를 통해 소모하도록 한다. SOC가 0%가 될 때까지 일정한 출력으로 방전을 진행할 수 있지만, 일반적으로 배터리의 수명을 고려하여 SOC가 20%에 도달할 때까지 방전을 진행하도록 한다.

Fig. 4는 배터리 에이전트를 Matlab/Simulink에서 제공하는 Stateflow 차트를 활용하여 구현한 모델을 보여준다. 배터리 에이전트는 풍력 에이전트의 출력 값과 디젤 에이전트의 출력 값, 그리고 부하 에이전트의 출력값을 비교하는 간단한 구조로 구성하였고, 배터리의 SOC에 따라 배터리에 ON/OFF 명령 또는 충/방전 출력값을 결정하는 기능을 수행한다.



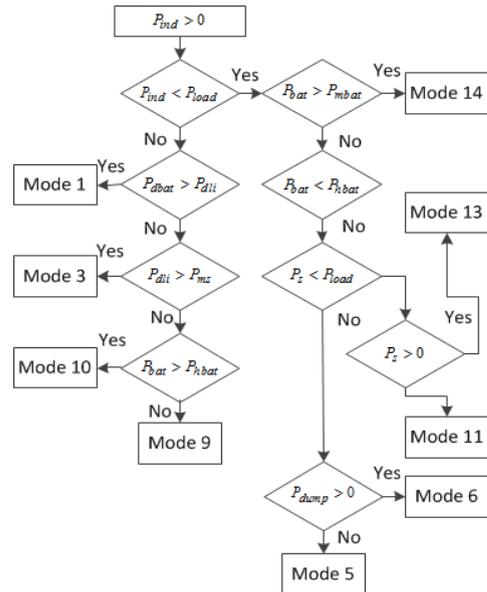
[Fig. 4] Battery agent

덤프로드 에이전트는 풍력 에이전트와 디젤 에이전트, 부하 에이전트의 전력량 비교를 통하여 동작한다. 풍력 복합발전 시스템에 전력이 남는 경우 배터리와 덤프로드의 동작을 확인해보면 남는 전력은 우선적으로 배터리가 충전을 진행하여야 하지만, 배터리의 SOC가 100%일 경우 배터리가 더 이상 충전을 진행할 수 없기 때문에 덤프로드 에이전트가 이를 확인하고 덤프로드의 동작을 명령할 수 있다. 배터리의 SOC가 100%가 아니더라도 순간적으로 풍력 복합발전 시스템에 전력이 너무 많이 남는 경우와 SOC가 80%에 도달하면, 배터리의 충전만으로 이를 전부 충당할 수 없기 때문에 덤프로드 에이전트는 덤프로드의 동작을 통해 배터리가 충전을 진행하고 남는 전력을 소비시킨다.

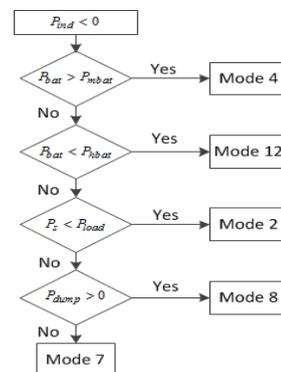
3.2 멀티에이전트 제어

멀티에이전트 제어의 운영방법을 Fig. 5와 6에 나타내었고, 다양한 환경에서 배터리의 작동상태에 따른 각각 에이전트들의 동작 상태를 Table 1과 같이 설계하였다. Fig. 5에서 풍력발전 에이전트는 풍력발전량(P_{ind})에 따라 배터리 에이전트의 현재 배터리 상태(P_{bat})와 부하 에이전트의 부하사용량 (P_{load})의 상태를 확인한다. 풍력발전기가 출력상태($P_{ind} > 0$)에서 부하사용량이 풍력발전량보다 큰 경우($P_{ind} < P_{load}$), 현재의 배터리 상태에서 최소 유지해야 하는 배터리 하한 상태(SOC=20%)의 차(P_{dlat})를 계산하고 부하사용량과 풍력발전량(P_{ind})의 차(P_{dli})보다 큰 경우($P_{dlat} > P_{dli}$)에 멀티에이전트 제어기는 풍력발전기와 배터리 방전이 되는 Mode 1으로 동작하게 한다. 부하사용량과 풍력발전량 차이가 사용가능한 배터리량 보다 크고($P_{dlat} < P_{dli}$), 디젤발전 최소값보다 큰 경우($P_{dli} > P_{ms}$)에 멀티에이전트 제어기는 풍력발전기, 디젤발전기와 배터리 방전으로 구성된 Mode 3가 동

작하게 한다. 부하사용량과 풍력발전의 차가 디젤발전 최소값보다 작을 때($P_{dli} < P_{ms}$), 멀티에이전트 제어기는 배터리가 상한 상태(SOC=80%)에서는 풍력발전기, 디젤발전기, 배터리 방전, 그리고 덤프로드 방전이 되는 Mode 10으로 동작시키고, 배터리가 상한 상태가 아닌 경우에는 풍력발전기, 디젤발전기, 그리고 배터리 충전이 되는 Mode 9가 운전시킨다. Fig. 6에서 풍력발전기가 동작하지 않는 경우에 멀티에이전트 제어기는 디젤발전기, 배터리, 그리고 덤프로드 에이전트를 호출하여 부하사용량과 배터리의 충전상태에 따라 Mode 4, Mode 12, Mode 2, Mode 7, 또는 Mode 8로 동작시킨다.



[Fig. 5] Flowchart of multi-agent control ($P_{ind} > 0$)



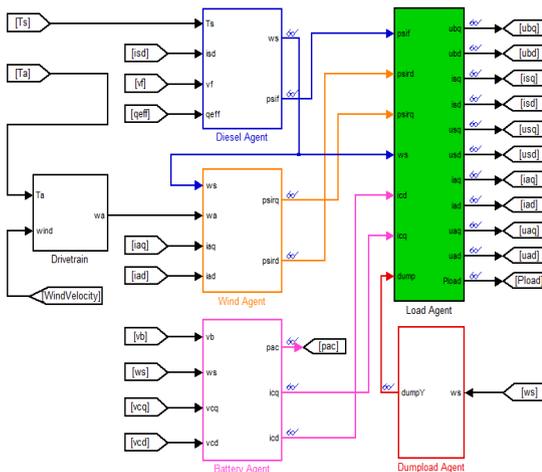
[Fig. 6] Flowchart of multi-agent control ($P_{ind} < 0$)

[Table 1] Operation modes in multi-agent control

Operation Modes	Multi-agent operation states	
Mode 1	Battery (Discharge)	Wind Generator
Mode 2		Diesel Generator
Mode 3		Wind Generator + Diesel Generator
Mode 4		Only Battery
Mode 5	SOC ($\leq 80\%$)	Wind Generator
Mode 6		Wind Generator + Dumpload
Mode 7		Diesel Generator
Mode 8		Diesel Generator + Dumpload
Mode 9		Wind Generator + Diesel Generator
Mode 10		Wind Generator + Diesel Generator + Dumpload
Mode 11	SOC ($\geq 80\%$)	Wind Generator + Dumpload
Mode 12		Diesel Generator + Dumpload
Mode 13		Wind Generator + Diesel Generator + Dumpload
Mode 14	Battery SOC ($\leq 20\%$)	Wind Generator + Dumpload

4. 컴퓨터 시뮬레이션

컴퓨터 시뮬레이션을 수행하기 위해 풍력 복합발전 시스템은 Matlab/Simulink 프로그램을 이용하여 모델링하였고, 전체 시스템의 구성도는 Fig. 7과 같다.



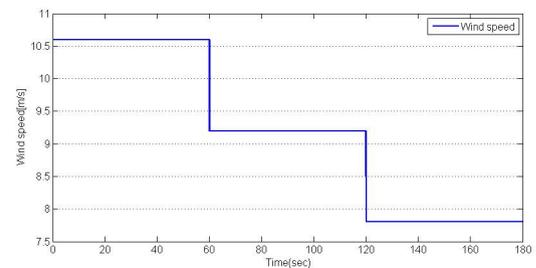
[Fig. 7] Simulation configuration of wind hybrid power systems

본 논문에서는 멀티에이전트 제어방법을 적용하고 풍력발전기, 디젤발전기, 배터리, 덤프로드는 AC버스에 연결시킨 복합 풍력발전 시스템의 동적특성을 분석하였다. 시뮬레이션에서 디젤발전기 출력을 P_s , 풍력발전기의 출력을 P_{ind} , 부하의 요구량을 P_{load} , 배터리의 출력을 P_{bat} , 덤프로드의 출력을 P_{dump} 라고 표현하였다. 시뮬레이션을 위한 시스템 파라미터의 값들은 Table 2와 같다.

[Table 2] System parameters

Kind	Rating
Wind Generator (kW)	55
Diesel Generator (kW)	55
Dumpload (kW)	55
Battery (kWh)	50
Load (kW)	40
Frequency (Hz)	50
AC Voltage (V)	230

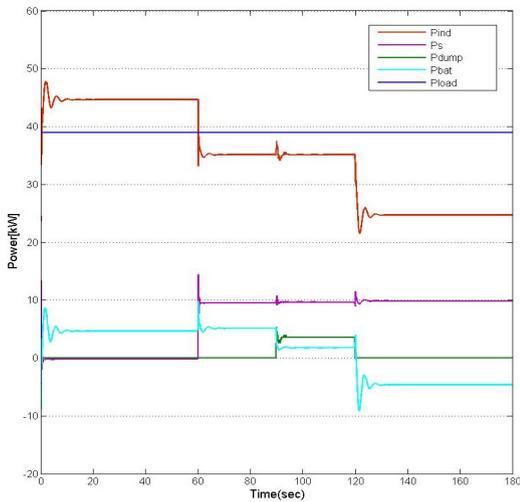
시뮬레이션은 풍속의 변화에 따라 각각의 Mode들이 상황에 맞게 적절하게 동작하는지를 확인한다. Case 1은 Fig. 8과 같이 풍속이 일정한 간격으로 감소하고 부하는 39kW로 고정하여 시뮬레이션을 진행하였다.



[Fig. 8] Wind data

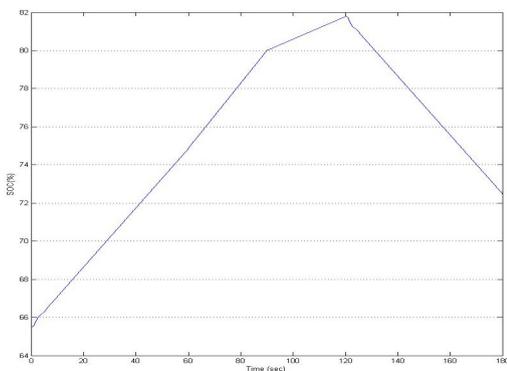
Fig. 9에서 60초까지는 풍력발전기의 발전량이 부하의 요구 전력량보다 많으므로 배터리 에이전트를 통해 Mode 5로 동작한다. 배터리가 충전모드로 동작하여 남은 전력 모두를 배터리의 충전하고 디젤발전기와 덤프로드는 동작하지 않음을 확인할 수 있다. 60초부터 풍속이 감소하여 풍력발전기가 부하에 충분한 전력을 공급하지 못하므로, 제어기는 낮은 레벨로 디젤발전기를 동작시켜 부족한 전력을 부하에 공급하고, 남은 전력을 배터리에 충전시키는 Mode 9로 시스템을 동작시킨다. 90초 정도

에 배터리의 SOC가 80%에 도달함을 배터리 에이전트를 통해 확인한 후에, 제어기는 배터리의 충전량이 작아지는 것을 덤프로드를 동작시켜 남은 전력을 소비하는 Mode 13으로 시스템을 동작시키는 것을 확인할 수 있다. 120초에 풍속이 더 감소하여 풍력발전기의 출력량이 많이 감소하였음을 확인하고, 제어기는 배터리 에이전트를 통해 배터리를 충전모드를 방전모드로 전환하여 Mode 3으로 시스템을 동작시키고 부족한 전력을 공급해 주었다.



[Fig. 9] Power outputs of agents

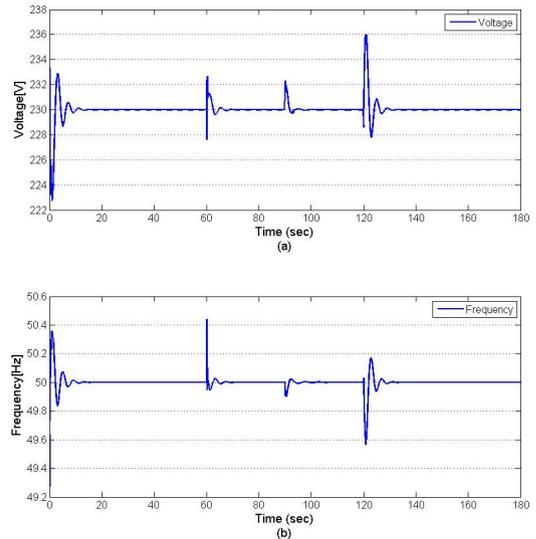
Fig. 10은 시뮬레이션에서 배터리의 SOC를 보여준다. 90초에 배터리의 상태가 80%에 도달함에 따라 배터리의 충전량이 감소함을 확인할 수 있고, 120초에 배터리가 방전모드로 전환되어 배터리의 SOC가 감소하는 것을 확인할 수 있다.



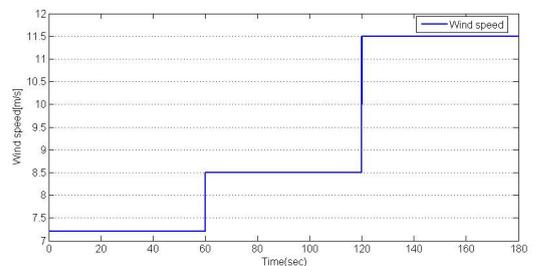
[Fig. 10] SOC curve of battery

Fig. 11은 시뮬레이션에서 풍력 복합발전 시스템의 전압과 주파수 출력을 나타내었는데, 풍속이 변동되고 각 에이전트들이 동작하는 순간에는 순간적으로 전압과 주파수가 변동하였지만 전압의 안정 범위인 $230\text{ V} \pm 6\%$ 인 216.2 V에서 243.8 V 이내에서, 50 Hz $\pm 1\%$ 인 49.5 Hz에서 50.5 Hz사이 안정된 주파수를 유지함을 확인할 수 있다. 그리고 빠른 시간 내에 전압과 공칭주파수가 230 V와 50 Hz로 회복됨을 알 수 있다.

Case 2는 Fig. 12와 같이 풍속이 일정한 간격으로 증가하고 부하는 마찬가지로 39kW로 고정하여 시뮬레이션을 수행하였다.



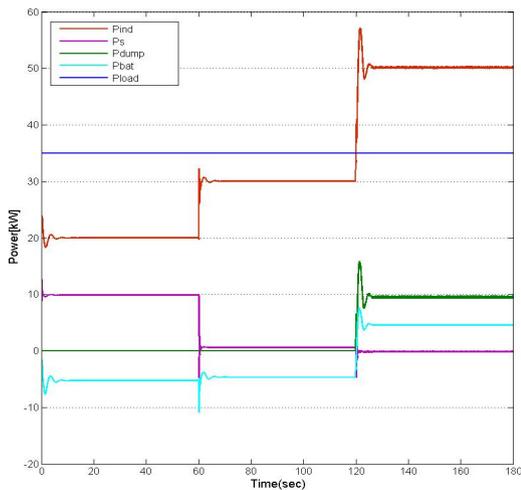
[Fig. 11] Bus outputs (a) voltage (b) frequency



[Fig. 12] Wind data

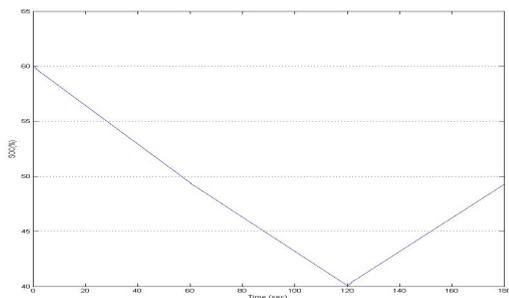
Fig. 13에서 60초 까지는 풍력발전기의 출력이 부하 요구량보다 부족하기 때문에, 제어기는 낮은 레벨로 디젤발전기를 동작시키고 배터리는 방전모드로 놓고 전력

부족분을 공급시키는 Mode 3로 시스템을 동작시켰다. 60초부터 풍속이 증가하여 풍력발전기의 출력이 커졌으므로, 제어기는 디젤발전기의 작동을 중지시키고 배터리의 방전만으로 시스템에 부족한 전력량을 전부 공급시키는 Mode 1로 시스템을 동작시킴을 확인할 수 있다. 120초 이후에 풍속의 급격한 증가에 따라 풍력발전량도 급격히 증가하였고 시스템에는 많은 전력이 남는다. 따라서 제어기는 배터리가 충전을 진행하였지만 배터리가 남는 전력을 전부 충전할 수 없기 때문에 Mode 6로 시스템을 동작시켜 배터리와 덤프로드를 통해 남는 잉여전력을 소비함을 확인할 수 있다.



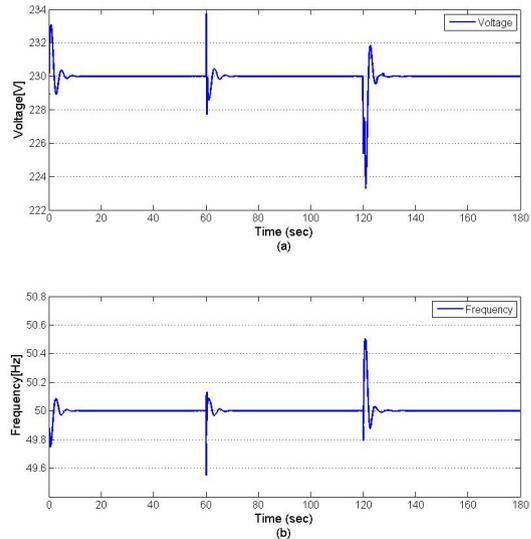
[Fig. 13] Power outputs of agents

Fig. 14는 시뮬레이션에서 배터리의 SOC를 보여준다. 처음에는 풍속이 작아 배터리는 방전 모드로 동작을 하다가 120초에 풍속이 증가할 때 충전 모드로 전환되는 과정에서 다음과 같은 SOC의 변화를 확인할 수 있다.



[Fig. 14] SOC curve of battery

Case 1의 결과와 마찬가지로 Fig. 15에서 전압과 주파수가 상황이 변화할 때마다 과도현상을 거친 후 안정되는 것을 확인할 수 있었다. 그리고 에이전트들의 동작을 통하여 전력품질이 안정적으로 유지되는 것을 확인할 수 있었다.



[Fig. 15] Bus outputs (a) voltage (b) frequency

5. 결론

본 논문에서는 풍력 복합발전 시스템을 대상으로 멀티에이전트 제어방법을 활용한 전력품질 제어방법을 제안하였다. 풍력발전기, 디젤발전기, 배터리 와 덤프로드를 대상으로 에이전트를 구성하였으며, 시뮬레이션 결과 전력품질 제어가 각 Mode에 맞게 적절히 이루어지는 것을 확인할 수 있었다. 본 논문에서 제안한 멀티에이전트 제어 기법은 향후 풍력 복합발전 시스템의 제어 기법으로 활용될 수 있을 것이라 기대된다.

References

- [1] D. S. Lee, J. S. Park, H. Y. Shin, Y. J. Choi., H. J. Lee., and J. H. Choi, "Microgrid village design with renewable energy resources and its economic feasibility evaluation," IEEE T&D Asia, 2009.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/TD-ASIA.2009.5356841>

- [2] Bo-Bae Lee, *A Study on Designation of Renewable Energy Electricity Generation in Gapa Island Using Demand Forecasting of Power*, Soongsil University, Master Thesis, 2012.
- [3] H. S. Ko and J. Juri, "Power quality control of wind-hybrid power generation system using fuzzy-LQR controller," *IEEE Trans. Energy Conversion*, vol. 22, no. 2, pp. 516-527, 2007. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/TEC.2005.858092>
- [4] Jae-Hun Joe and Won-Pyo Hong, "Operating method of hybrid energy system using multi-agent system," *KIIEE Spring Annual Conference*, pp. 274-275, 2011.
- [5] Seung-Jin Kang, *Multi-agent Control for Wind Hybrid Power Systems*, Jeju National University, Master Thesis, 2014.

강 승 진(Seung-Jin Kang)

[정회원]



- 2014년 8월 : 제주대학교 전기공학과(공학석사)
- 2014년 9월 ~ 현재 : 한국에너지기술연구원 풍력연구실 위촉연구원

<관심분야>

마이크로그리드, 풍력발전시스템

고 희 상(Hee-Sang Ko)

[정회원]



- 2000년 1월 : 미국펜실베이니아주립대학교 전기공학과(공학석사)
- 2006년 12월 : 캐나다브리티시컬럼비아대학교 전기컴퓨터공학과 (공학박사)
- 2007년 9월 ~ 2008년 2월 : 한국에너지기술연구원 풍력연구실 위촉연구원

- 2008년 3월 ~ 2013년 3월 : 삼성중공업 풍력발전사업부
- 2013년 4월 ~ 현재 : 한국에너지기술연구원 풍력연구실장

<관심분야>

마이크로그리드, 풍력발전시스템 설계 및 제어

부 창 진(Chang-Jin Boo)

[정회원]



- 2003년 2월 : 제주대학교 전기공학과 (공학석사)
- 2007년 2월 : 제주대학교 전기공학과 (공학박사)
- 2007년 12월 ~ 2008년 12월 : 미국베일러대학교 방문연구원
- 2013년 3월 ~ 현재 : 제주대학교 전기공학과 시간강사

<관심분야>

접지시스템 설계, 스마트그리드, 제어시스템

김 호 찬(Ho-Chan Kim)

[정회원]



- 1989년 2월 : 서울대학교 제어계측공학과(공학석사)
- 1994년 2월 : 서울대학교 제어계측공학과(공학박사)
- 2008년 2월 ~ 2009년 2월 : 미국 펜스테이트 방문교수
- 1995년 9월 ~ 현재 : 제주대학교 전기공학과 교수

<관심분야>

신재생에너지, 풍력발전, 에너지효율