

근거리 무선통신(Zigbee)을 이용한 마이크로 그리드 운영기법

최원준*, 정일엽**, 원동준*
 인하대학교*, 국민대학교**

Microgrid Operation Method Using Short-range Wireless Communication

Won Jun Choe*, Il Yop Chung**, Dong Jun Won*
 Inha University*, Kookmin University**

Abstract - 본 논문에서는 태양광 전원, 배터리, 마이크로터빈, 스마트 홈 등 다양한 목적과 특성을 가진 요소로 구성된 마이크로그리드를 효율적으로 제어, 관리하기 위한 분산 지능형 제어원리를 제안한다. 기존의 중앙집중식 제어원리는 중앙에서 전체 시스템에 대한 정보를 취득하여 운영에 대한 의사결정을 독점하는 구조였다면 제안하는 원리는 마이크로그리드의 구성요소가 각각 지능형 에이전트를 기반으로 스스로 데이터를 취득하고 이웃 에이전트와의 대화와 협조를 통해 분산제어를 수행하는 방식이다. 각 에이전트 사이는 근거리 무선통신 방식인 Zigbee를 이용하였고 마이크로그리드를 실시간으로 해석하기 위하여 MATLAB 기반의 실시간 시뮬레이터를 이용하였다. 실시간 마이크로그리드 시뮬레이션 모델과 에이전트 역할을 하는 마이크로 컨트롤러를 연계하여 Hardware-in-the-loop 기반의 데모시스템을 구축하였고 제안하는 원리에 대해 검증하였다.

Index Terms - Microgrid, distributed control, MAS(Multi-Agent System), demand response, Zigbee

1. 서 론

통신기술과 전력 IT의 발달과 더불어 전기에너지의 보다 효율적인 사용을 위하여 스마트 그리드가 제안 되었고, 미래형 전력 계통으로서의 관심과 연구가 국, 내외에서 활발히 진행되고 있다. 친환경 신재생에너지 발전, 전기 공급자와 수요자의 양방향 정보 교환 및 전기 자동화 연계 등 다양한 형태와 복합적인 구성요소를 포함한 스마트 그리드 시스템은 기존의 전력 계통과 달리 지능적이고, 자율적이며, 분산적인 계통 운영 및 제어가 요구되고 있다. 이에 Multi-Agent System(MAS) 기반의 분산 지능형 관리시스템이 이에 적합한 대안으로 주목받고 있다.

Multi-Agent System(MAS)은 어떠한 목적을 수행하기 위해 여러 지능적인 에이전트(Agent)들이 각각의 의사를 상호 소통하고 이를 바탕으로 스스로 의사 결정을 하여 대상에 대한 명령을 수행하도록 하는 시스템을 의미한다. 이 때 에이전트는 복잡한 동적인 환경에서 목표를 달성하려고 시도하는 시스템으로서 각 Agent 들은 소프트웨어 프로그램이나 로봇처럼 자율적인 개체(Autonomous Entities)인 것으로 간주된다. 이 때 각 에이전트들의 상호작용은 서로 이기적일 수도 있고 협력적일 수도 있으며, 의사결정은 공통의 목적을 가질 수도 있고 그들 자신의 이익을 추구할 수도 있다. 그러므로 효율적인 MAS 적용을 위해서 각 에이전트들의 판단과 의사소통에 필요한 규칙을 설정하고, 효율적인 행동 양식을 연구하는 등 대상 시스템에 적합한 에이전트 구조(Agent Architecture)를 개발하는 것이 필요하다.

현재 MAS(Multi Agent System)에 관심을 가지고 있는 나라가 많다. 그 중 미국의 Virginia Tech에서는 배전 계통의 Smartgrid인 IDAPS(Intelligent Distributed Autonomous Power System)에 MAS 기술을 접목시키는 연구가 진행 중이고 UNIV. of Southampton에서는 Smartgrid에 MAS를 적용하여 소비자 및 공급자 간 양방향 정보 교환, 견고한 운영, 자치 제어가 가능하도록 전력망 구축을 위한 연구가 진행 중이다. 이 밖에 다른 나라인 인도, 호주, 네덜란드도 Smartgrid에 MAS를 적용시키는 연구가 활발히 진행 중이다.

이번 논문에서는 DC-MICROGRID에 MAS(Multi Agent System) 개념을 도입하고 각 Agent가 서로 근거리무선통신인 Zigbee를 이용하여 통신을 함으로써 Emergency DR(Demand Response)에 대해 서로 대화방식을 이용하여 신속하게 Emergency DR에 대한 최적해를 구하는 방식을 제안하고 있다.

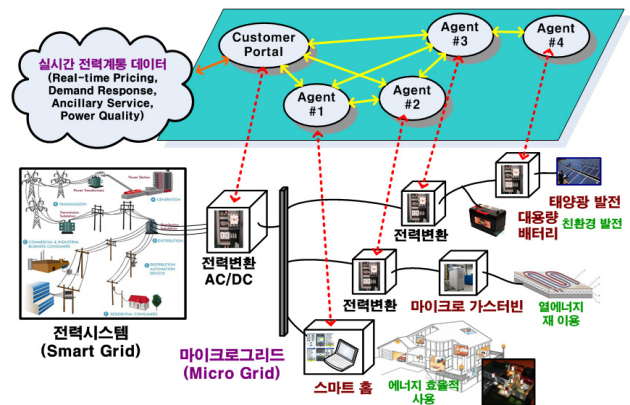
2. 본 론

2.1 DC-마이크로그리드와 MAS 연계

이번 논문에서 사용한 마이크로 그리드는 DC-마이크로그리드이다. 전력시스템인 Smartgrid에서 AC/DC Converter를 통해 DC-BUS에 연결

이 된다. Microgrid는 분산전원들과 부하로 이루어져 있다. 각 분산전원은 전력변환장치를 통하여 계통과 연결되어 있는 DC-BUS에 연결이 되어 있다. 분산전원으로는 태양광발전, 마이크로 가스터빈, 대용량 배터리로 구성되어 있다. 먼저 RT-LAB에서의 모델링에서는 PV와 Battery는 결합이 되어 있는 형태이다. PV같은 제어가 가능하지 않는 부하로 일조량에 대해 전류의 출력이 달라지고 PV내부에 있는 DC/DC Converter에서 전압을 조절하여 전력량을 최대치로 하는 MPPT(Maximum Power Point Tracking) 동작을 하고 시뮬레이션 내에서는 항상 30kW의 출력을 내도록 설정이 되어 있다. Battery는 50kW를 정격으로 사용하게 모델링이 되어 있으며, PV와 Battery는 결합이 되어 총 80kW의 출력을 내도록 모델링이 되어 있다. 이 두 분산전원의 결합체에 연결이 되는 Agent는 하나로서 시나리오 상에서 가장 먼저 투입이 되는 Agent라 볼 수 있다. 두 번째 분산전원으로는 열병합 발전인 MGT(Micro Gas Turbine)는 출력이 가능한 분산전원으로 정격 30kW를 출력할 수 있게 모델링이 되어 있다. Battery와 MGT의 차이로는 SOC(State of Charge)의 유무의 차이(MGT의 경우 SOC가 없음)이며 MGT는 연료를 공급하여 열을 이용하여 발전을 하는 형태이다. 부하로는 Smart Home이라는 지능형 부하로 구성되어 있다. 기존의 Microgrid에서 사용하는 부하와 다른 점은 Agent를 사용하여 계통의 Emergency DR에 대해 부하의 양을 스스로 조절할 수 있다는 장점이 있다. 그리고 각 분산전원과 부하들은 Agent라는 관리자가 설치되어 있으며, 각 Agent는 전력변환장치와 연계되어 있다. 각 Agent들은 현재 분산전원과 부하에게 명령을 내려 발전량 및 소모량을 조절 할 수 있다. Customer Portal은 각 Agent들에게 계통에서 전력 데이터를 받아 Zigbee를 통해 그에 대한 정보를 Agent들에게 보내준다. 계통에서 전력이 부족할 시 마이크로그리드 내에 있는 분산전원과 부하의 Agent에게 명령을 내려 부족분에 대한 전력량을 확보한다.

USN을 이용한 마이크로그리드 관리시스템

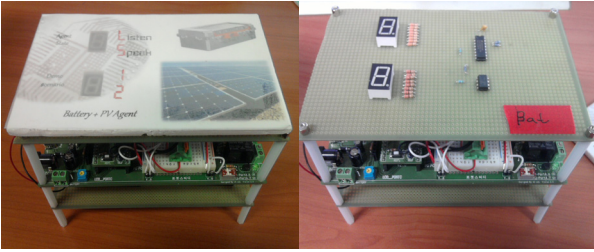


<그림 1> 마이크로 그리드와 Agent 연계도

2.2 Agent 하드웨어

Agent는 ATmega128과 Zigbee 모듈을 이용하여 마이크로컨트롤 보드를 제작했다. ATmega128에는 C언어로 코딩이 된 각각의 Agent 소스가 삽입이 된다. 하드웨어는 총 3층의 구조로 구성이 되어 있으며 1층에는 전원 공급용 배터리 1조와 아날로그 -5V 전압을 공급하기 위한 배터리가 공급이 되며 2층에는 유비보드 3층에는 현재의 상태를 알리기 위한 7-Segment 1개, 시나리오 번호를 알리기 위한 7-Segment 1개, OPAL-RT와 아날로그 전압을 송수신하기 위한 DAC-CONVERTER,

OPAMP가 각각 1개씩 설치되어 있다.



<그림 2> 유비보드 하드웨어 사진

2.3 하드웨어 간의 연계 방식

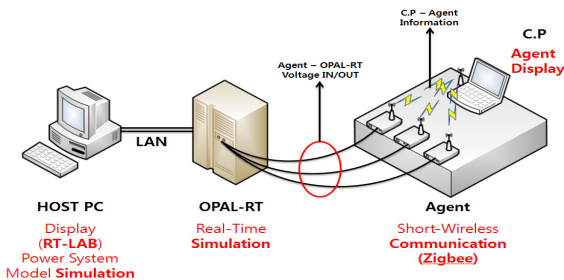
이번 논문에 사용한 하드웨어는 총 3종류로 OPAL-RT라는 RT-LAB 기반의 기기와 Customer Portal이라는 메인 서버 PC 그리고 마이크로 컨트롤 보드로 구성된 Agent를 사용하고 있다.

이 시스템에서 언급하고 있는 Customer Portal은 계통과 연계되고 있는 Agent의 개념이라고 볼 수 있다. Customer Portal은 계통에서의 실시간 전력계통 데이터(전력량, kW당 가격정보)를 수신하여 Microgrid에 필요한 정보를 수집하여 Microgrid에 위치하고 있는 Agent측에 요청하여 최적해를 구한 후에 이 정보를 다시 계통에 송신하는 EMS(Energy Management System)와 같은 개념이라 볼 수 있다.

하드웨어에는 각 Agent들의 특성이 프로그래밍되어 있으며 Agent들은 Customer Portal이라는 Gateway 개념의 메인 서버와 Zigbee를 통해 명령을 받고 Agent의 현재 상태를 디스플레이로 전송하는 방식이다.

여기서 사용하는 기기인 OPAL-RT는 RT-LAB이라는 MATLAB기반의 프로그램을 이용하고 OPAL-RT의 주요기능은 아날로그 및 디지털 신호를 실시간적으로 RT-LAB이라는 프로그램을 이용하여 실시간(Real Time)으로 송수신을 할 수 있다는 특징을 가지고 있다. 이 논문에서 제안하는 방식에서 전력계통에서 실시간 전력 데이터를 송수신을 하기 때문에 OPAL-RT와 RT-LAB프로그램을 이용하는 것이 가장 적절하다고 볼 수 있다.

Agent는 OPAL-RT와 전압 정보를 송수신하여 Agent에서의 정보를 OPAL-RT로 보내어 이를 OPAL-RT와 연결된 HOST PC에 RT-LAB이라는 프로그램을 이용하여 현재 구성되어 있는 DC-MICROGRID에서 각 분산전원 및 부하의 전력정보를 실시간으로 디스플레이를 한다. 그리고 Customer Portal은 Agent와 String방식(문자열)의 정보를 송수신하며 Customer Portal은 각 시나리오에 따른 전압정보를 송수신하여 Agent는 그 정보를 수신하여 아날로그 전압을 OPAL-RT로 보내고 각 Agent들은 자신의 현재 출력(3.3V를 1P.U.)을 Customer Portal에 연결된 컴퓨터에 디스플레이를 한다. 필의 그림은 시뮬레이션에 사용한 C.P, Agent, OPAL-RT의 연계를 그림으로 나타낸 것이다.



<그림 3> C.P와 Agent, OPAL-RT의 연계도

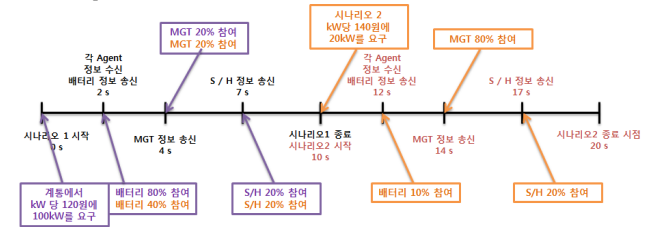
2.4 Emergency DR(Demand Response)

DR(Demand Response)는 수요 반응이라는 뜻으로써 End-use 고객이 통상적 소비패턴으로부터 전력사용량을 변화(감소 또는 이전)한다 것이다. DR은 Virtual Supply로서 활용이 되고 DR을 적용하면 전력 계통의 신뢰성이 증대하며 발전 단가를 절감함으로써 경제성이 확보가 된다는 장점이 있다. 이 논문에서 시사하고 있는 Emergency DR은 계통에서 전력이 부족할 시에 Microgrid 측에 요청을 하여 분산전원이나 지능형 부하측면에서 전력을 발전하거나 사용량을 줄일 시에 그에 따른 인센티브를 제공한다.

2.5 시나리오 분석

이번 논문에 적용한 시나리오는 총 2개이다. 최적해를 구하기 위한 시나리오으로써 대화방식으로 진행된다. 첫 번째 시나리오는 한번의 대화로 각 Agent들이 각자의 최적해를 찾는 방식이고 두 번째 시나리오는 첫

번째 시나리오에서 최적해를 구하지 못했을 경우 한 번 더 대화를 통하여 최적해를 구하는 방식이다. 아래는 논문에서 사용한 시나리오를 Time Sequence로 나타낸 것이다



C.P측에서 계통에서 필요로 하는 전력량과 가격정보를 Agent측에 신호를 인가한다. 이에 대해 각 Agent들은 자신의 능력에 대해 참가할 수 있는 양을 C.P측에 보낸다. 이에 대해 C.P는 계통에서 보낸 정보와 비교하여 최적해를 구한 경우 각 Agent들은 최적해에 대한 전력량에 대한 정보를 OPAL-RT로 보낸다.



<그림 5> 시나리오 실행 프로그램(Visual Basic)

위의 프로그램은 시나리오 실행을 위해 Visual Basic을 이용하여 만든 실행 프로그램이다. 각 시나리오를 실행하기 위해 Scenario1, 2 버튼을 클릭하면 각 시나리오가 실행된다.

3. 결 론

이 논문은 MAS(Multi Agent System)이라는 분산 제어 기법을 Smartgrid에 적용시킨 후 각 Agent간에 Zigbee를 이용하여 실시간으로 통신을 함으로써 Emergency DR에 대하여 최대한 빠르게 최적해를 찾는 방식을 제안하고 있다.

이번 연구에서 단순한 정적인 시뮬레이션이 아닌 실시간적으로 정보 수집이 가능한 기기인 OPAL-RT를 사용함으로써 동적인 시뮬레이션 결과를 도출하였다. 실시간으로 시뮬레이션을 진행함으로써 연구에서 필요한 Emergency DR에 대한 정보를 수집할 수 있었으며 Microgrid에 MAS를 적용시켜 계통은 가장 적합한 가격에 전력을 사용할 수 있는 결과를 도출할 수 있었다.

차후 연구는 현재 제주도 실증단계에 맞추어 분산전원과 지능형 부하를 추가를 시키고 하드웨어 및 프로그래밍을 보완시켜 Emergency DR 뿐만 아니라 다양한 DR에 대해 최적해를 구할 수 있는 방향으로 연구를 필요할 것이다.

감 사 의 글

본 연구는 지식경제부 및 정보통신 산업진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음 (NIPA-2010-C1090-1021-0005).

[참 고 문 헌]

- [1] H. N. Aung, A. M. Khambadkone, D. Srinivasan, "Agent-based Intelligent Control for Real-time Operation of a Microgrid", 2011
- [2] Sheng Gehao, Jiang Xiuceng, and Zeng Yi, "Optimal Coordination For Multi-Agent Based Secondary Voltage Control In Power System", IEEE/PES Transmission and Distribution Conference & Exhibition, 2005
- [3] S. Rahman, M. Pipattanasomporn and Y. Teklu, "Multi-Agent Systems in a Distributed Smart Grid: Design and Implementation", 2009
- [4] S. Rahman, M. Pipattanasomporn and Y. Teklu, "Intelligent Distributed Autonomous Power Systems (IDAPS)", In Proc. 2007 the IEEE PES Annual General Meeting, Tampa, Florida, 8pp.