

# 전력망 연계형 마이크로그리드 최적운행을 위한 분산에너지자원 에너지관리시스템

최종우\*, 신영미\*, 이일우°

## DER Energy Management System for Optimal Management of Grid-Connected Microgrids

Jongwoo Choi\*, Youngmee Shin\*, Il-Woo Lee°

### 요약

본 논문에서는 전력망 연계형 마이크로그리드의 분산에너지자원을 위한 에너지관리시스템의 구조에 대해 서술한다. 전력망 연계형 마이크로그리드의 분산에너지자원 에너지관리시스템은 분산에너지자원들의 상태나 시간대별 차등요금제와 같은 마이크로그리드 내외의 각종 정보들을 다양한 프로토콜들을 통해 수집한다. 에너지관리시스템은 수집한 정보들을 바탕으로 예측과 최적화 계산을 수행하고, 전기요금 절감이라는 마이크로그리드 최적운영 목표를 달성할 수 있도록 분산에너지자원들의 운전 스케줄을 도출한다. 최적운영 달성을 위하여 에너지관리시스템은 내부적으로 효과적 스케줄 도출을 위한 알고리즘을 포함하고 있어야 하며, 도출한 스케줄을 외부의 분산에너지자원에 전달할 수 있는 프로토콜을 갖추어야 한다. 예측 과정에서 발생하는 실제와의 오차를 줄이기 위하여 에너지관리시스템은 rolling horizon controller로 작동한다. 도출된 운전 스케줄은 국제표준프로토콜을 통하여 실시간으로 분산에너지자원에 전달되어 마이크로그리드 최적운행을 가능하도록 한다.

**Key Words** : microgrid, DER, EMS, optimal control, rolling horizon

### ABSTRACT

This paper presents the structure of an energy management system for distributed energy resources of a grid-connected microgrid. The energy management system of a grid-connected microgrid collects information of the microgrid such as the status of distributed energy resources and the time varying pricing plan through various protocols. The energy management system performs forecasting and optimization based on the collected information. It derives the operation schedule of distributed energy resources to reduce the microgrid electricity bill. In order to achieve optimal operation, the energy management system should include an optimal scheduling algorithm and a protocol that transfers the derived schedule to distributed energy resources. The energy management system operates as a rolling horizon controller in order to reduce the effect of a prediction error. Derived control schedules are transmitted to the distributed energy resources in real time through the international standard communication protocol.

※ 본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술연구원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 20161210200310)

◆ First Author : Electronics and Telecommunications Research Institute IoT Research Division, jwchoi89@etri.re.kr, 정희원

° Corresponding Author : Electronics and Telecommunications Research Institute IoT Research Division, ilwoo@etri.re.kr, 정희원

\* Electronics and Telecommunications Research Institute IoT Research Division, ymshin@etri.re.kr, 정희원

논문번호 : KICS2017-02-022, Received January 19, 2017; Revised March 24, 2017; Accepted March 27, 2017

## I. 서 론

마이크로그리드는 전기적 범위 내에 존재하는 부하와 분산에너지자원(Distributed Energy Resource, DER)들을 관리하는 것을 목적으로 하는 지역 전력망이다<sup>1)</sup>. 전력망 사업자의 입장에서 볼 때 마이크로그리드는 그 자체로서 하나의 제어 가능한 전력 자원과 같이 행동하며, 마이크로그리드의 전력 사용량은 그 범위 하에 있는 모든 부하와 분산에너지자원의 전력 생산/발전량을 합친 것으로 정의된다. 전력망 사업자의 관점에서 마이크로그리드를 하나의 제어 가능한 자원으로 볼 수 있다는 것은 마이크로그리드 내부의 부하와 분산에너지자원들에 대해 개별적으로 고려하지 않아도 된다는 장점을 제공한다.

마이크로그리드의 운전 모드는 전력망에 연계되어 운전되는 그리드 연계 운전(Grid-Connected)과 전력망과는 별개로 독립적으로 운전되는 독립 운전(Island)의 두 가지로 구분될 수 있다<sup>1)</sup>. 마이크로그리드가 전력망과는 별개로 독립적으로 운전될 경우 마이크로그리드는 주파수나 전압 등 내부 공급 전력의 품질 관리에 대한 책임을 스스로 져야한다. 이 경우 마이크로그리드 내부 분산에너지자원들의 에너지 용량 중 일부는 전력 품질 관리로의 사용이 강제되며, 마이크로그리드 경제성 확보 등 다른 용도로는 사용되지 못한다<sup>2)</sup>.

본 논문에서 대상으로 하는 전력망 연계형 마이크로그리드는 전력망으로부터 분리되지 않고 연계되어 운전되는 형상을 가지고 있으며, 공급 전력의 품질 관리에 대한 책임을 전력망 사업자에게 위임할 수 있다. 전력망 연계형 마이크로그리드에서는 마이크로그리드 내부 분산에너지자원들의 에너지 용량 모두를 마이크로그리드 관리자의 목적 달성에 사용 가능하며, 이를 통하여 마이크로그리드 경제성 확보 등 부가적 목표를 달성할 수 있다<sup>3)</sup>.

마이크로그리드에 있어서의 운영 목표는 무정전 운전, 신재생에너지 활용 등 다양한 것이 있겠으나 기본적으로는 연료비, 관리비, 전기요금 등 운영비용의 감소를 그 최대 목표로 한다<sup>4)</sup>. 전력망 연계형 마이크로그리드에서의 최적운동은 분산에너지자원의 효율적 운전을 통하여 마이크로그리드 사업자가 전력망 사업자에게 지불해야하는 전기요금을 줄이는 것을 의미한다고 볼 수 있다.

분산에너지자원에 대한 에너지관리시스템(Energy Management System, EMS)은 관리자의 목표를 달성할 수 있도록 분산에너지자원의 효과적 운전을 돕는

시스템이다. 본 논문에서 제안하는 마이크로그리드 분산에너지자원 에너지관리시스템은 분산에너지자원들의 실시간 상태정보나 시간대별 전력 차등요금제 등 마이크로그리드 내외의 각종 정보들을 다양한 프로토콜을 통해 수집한다<sup>5)</sup>. 수집된 정보들은 에너지관리시스템의 예측 및 최적화 계산의 입력 값으로 사용되며, 최적화 계산 결과로 마이크로그리드의 최적운동을 달성하기 위한 분산에너지자원들의 운전 스케줄이 도출된다. 최적운동 달성을 위하여 에너지관리시스템은 내부적으로 효과적 스케줄 도출을 위한 알고리즘을 포함하고 있어야하며, 도출한 스케줄을 외부의 분산에너지자원에 전달할 수 있는 프로토콜을 갖추어야 한다. 예측 과정에서 발생하는 실제와의 오차를 줄이기 위하여 에너지관리시스템은 rolling horizon controller로 작동하며, 도출된 운전 스케줄을 국제표준 통신프로토콜을 통해 실시간으로 분산에너지자원에 전달하여 마이크로그리드 최적운동을 가능하도록 한다.

## II. 시스템 구조

### 2.1 대상 마이크로그리드

본 논문에서 고려하는 전력망 연계형 마이크로그리드는 에너지저장장치(Energy Storage System, ESS)를 유일한 제어 가능 분산에너지자원으로 한다. 에너지저장장치 외에도 연료전지 같은 발전자원 또는 슈퍼캐패시터 같은 저장자원이 적용될 수 있으나, 본 논문에서는 마이크로그리드 구조의 단순화를 위하여 가장 범용성이 높은 에너지저장장치만을 제어 가능 분산에너지자원으로 고려한다.

마이크로그리드에 적용되는 분산에너지자원은 관리자의 제어 가능 여부에 따라 두 가지로 나눌 수 있다. 앞서 서술한 제어 가능 분산에너지자원들은 그 충방전 전력을 능동적으로 조정하여 사용할 수 있다는 장점이 있으나, 발전에 필요한 연료비나 충방전 과정에서의 에너지 손실을 간과할 수 없다. 따라서 일반적인 마이크로그리드에서는 제어가 불가능하지만 발전에 추가적으로 소모되는 비용이 없거나 적은 신재생발전원을 도입하여 대부분의 전력 공급을 맡기게 된다. 본 논문에서 대상으로 하는 마이크로그리드는 신재생발전원 중에서도 가장 범용성이 뛰어난<sup>6)</sup> 태양광발전 시스템(Photovoltaic System, PV)을 제어 불가능 분산자원으로 고려한다.

전력망 연계형 마이크로그리드에서는 마이크로그리드 내의 전력 부족분 또는 잉여분을 전력망의 지원을 통해 처리할 수 있다. 마이크로그리드 내부 분산에

너지자원의 발전량과 부하의 소비량이 맞지 않을 경우 마이크로그리드 전체의 측면에서 전력 부족분 또는 잉여분이 발생하게 된다. 독립형 마이크로그리드의 경우 발전량과 소비량을 일치시켜 수급균형을 맞추는 것이 필수적이지만, 전력망 연계형 마이크로그리드에서는 부족분을 전력망에서 사오거나 잉여분을 판매하는 것으로 간단히 거래를 통해 처리할 수 있다. 따라서 독립형 마이크로그리드의 경우 전력 수급 균형을 맞춘다는 제약조건을 이룬 이후에야 관리자가 원하는 목적에 따라 제어를 수행할 수 있어 최적운영에 어느 정도 제한이 있는 반면, 전력망 연계형 마이크로그리드에서는 보다 적은 제한 하에서 최적운영을 고려할 수 있다.

마이크로그리드의 최적운영을 통해 최대의 경제성을 확보하기 위해서는 분산에너지자원들을 제어하기 위한 에너지관리시스템의 존재가 요구된다. 에너지관리시스템은 분산에너지자원들의 제어를 통하여 전력망과의 거래에서 최대의 경제성을 확보하는 것을 목표로 한다. 이를 위하여 에너지관리시스템은 다양한 프로토콜들을 통해 마이크로그리드 내외의 정보들을 수집하고, 수집한 실시간 정보들을 바탕으로 최대 경제성 확보가 가능한 방향으로 분산에너지자원 제어를 수행한다.

2.2 에너지관리시스템 내부/외부 통신

본 논문에서 제안하는 마이크로그리드 분산에너지자원 에너지관리시스템의 구조를 도식적으로 나타내면 그림 1 및 그림 2와 같다.

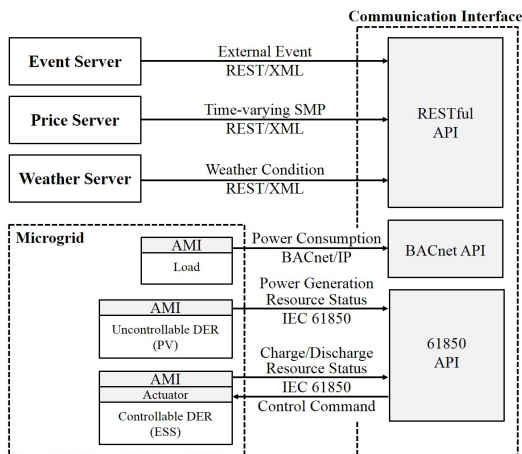


그림 1. 마이크로그리드 분산에너지자원 에너지관리시스템의 외부 통신 인터페이스  
Fig. 1. External communication interface of microgrid DER EMS

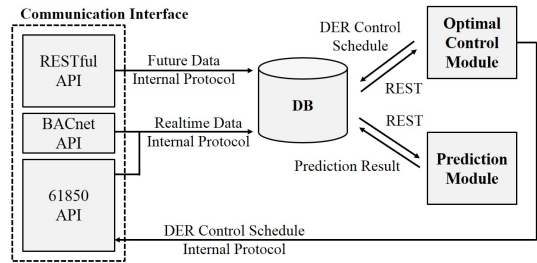


그림 2. 마이크로그리드 분산에너지자원 에너지관리시스템의 내부 통신 인터페이스  
Fig. 2. Internal communication interface of microgrid DER EMS

그림 1은 에너지관리시스템과 외부 장치들의 통신 인터페이스를 나타낸다. 에너지관리시스템은 마이크로그리드 최적운영을 위하여 마이크로그리드 내외에 존재하는 자원들과 통신하고 실시간 정보를 수집해야 한다. 수집해야 하는 실시간 정보 중 대표적인 것은 마이크로그리드 내에 존재하는 부하와 제어 불가능 발전자원들의 실시간 전력 소비/생산량을 들 수 있다. 해당 정보들은 에너지관리시스템의 개입 여지가 없는 값들이며, 정보들을 종합하여 마이크로그리드 내부 전력 수급상황을 파악해야만 최적운영을 위한 제어 가능 분산에너지자원의 운전 스케줄 도출이 가능하다.

마이크로그리드 내의 부하들은 개별적으로 분기된 저압 전력 라인으로부터 전력을 공급받는다. 실시간 전력 소비량 측정을 위하여 각 부하에는 지능형계량시스템(Advanced Metering Infrastructure, AMI)이 설치되어야 한다<sup>7)</sup>. 지능형계량시스템 통신 프로토콜은 전력선통신(Power Line Communication, PLC) 등 다양한 것이 가능하다. 본 연구에서는 기존에 구축된 건물자동화시스템(Building Automation System, BAS)을 활용하기 위하여 건물자동화시스템에서 사용되는 IP 기반 BACnet<sup>8)</sup> 방식으로 부하에 설치된 지능형계량시스템과 에너지관리시스템 사이의 정보 교환을 구현하였다.

대상 마이크로그리드의 분산에너지자원으로 선택된 태양광 발전 시스템과 에너지저장장치는 국제표준 규격인 IEC 61850을 통해 에너지관리시스템과 통신하게 된다. IEC 61850-7-420<sup>9)</sup> 국제표준은 분산에너지자원의 정보교환을 위한 정보 모델링에 대해 정의하고 있으며, 이를 통하여 분산에너지자원의 정보 수집 및 제어 명령이 가능하다. 에너지관리시스템의 IEC 61850 API(Application Programming Interface)는 정해진 규격에 따라 분산에너지자원과 정보교환을 수행하며, 내부 정보 구조와 IEC 61850 정보 구조 사

이의 변환을 지원한다. 제어 가능 분산에너지자원인 에너지저장장치의 경우 해당 프로토콜을 통하여 SOC(State of Charge), 고장 발생 여부 등의 실시간 정보를 에너지관리시스템에 전달하게 되고, 에너지관리시스템이 최적 운전 스케줄을 도출한 이후에는 제어 명령을 다시 전달받는다.

### 2.3 외부 서버

마이크로그리드의 최적운영을 달성하기 위해서는 마이크로그리드 외부의 정보들 역시 에너지관리시스템에 입력되어야 한다. 본 논문에서 제안하는 마이크로그리드 분산에너지자원 에너지관리시스템은 그림 2에 나타난 것과 같이 세 개의 외부 서버들과 통신하여 데이터를 수집한다. 외부 서버들과의 통신 프로토콜은 웹을 통하여 간단하게 데이터 수집이 가능하도록 RESTful<sup>[10]</sup> 방식을 통해 구현되었으며, REST/XML 형식의 데이터를 전달받는다.

에너지관리시스템과 통신하는 외부 서버는 이벤트, 요금제, 기상정보 서버의 세 가지이다. 에너지관리시스템은 각 서버와의 통신을 통하여 최적운영 계산에 필요한 외부 정보들을 수집하게 된다.

이벤트 서버는 전력망과의 연계에 있어 고려해야 하는 외부 이벤트들에 대한 정보를 전달하는 역할을 수행한다. 이러한 외부 이벤트의 예로는 정전예고나 수요반응(Demand Response, DR) 거래 예정량 등이 존재한다. 기본적인 마이크로그리드 최적운영과는 거리가 있지만 마이크로그리드 운영 과정에서 고려되어야 하는 외부 이벤트들의 스케줄은 이벤트 서버에 저장되며, 적용되어야 하는 시간대에 맞춰 마이크로그리드 에너지관리시스템에 전달된다.

요금제 서버는 마이크로그리드와 전력망 간 전력 거래에 적용되는 전력 단위 요금제에 대한 정보를 전달한다. 마이크로그리드의 분산에너지자원을 활용한 최적운영은 기본적으로 시간대별 요금제가 적용되는 상황에서 효과적으로 작동하며, 따라서 요금제 서버는 시간대별 계통한계가격(System Marginal Price, SMP)을 제공하게 된다. 에너지관리시스템의 요청이 있을 경우 요금제 서버는 해당 시점에서 정의된 시간대별 계통한계가격을 에너지관리시스템에 전달한다. 에너지관리시스템은 시간대별 요금제를 고려하여 분산에너지자원을 어느 시간대에 얼마나 사용하여야 마이크로그리드 전체의 경제성이 극대화되는지를 계산하고, 계산 결과를 바탕으로 분산에너지자원 운영 스케줄을 도출한다.

기상정보 서버는 제어 불가능 자원 또는 부하의 전

력 수급량 예측을 위한 기상정보를 제공한다. 태양광이나 풍력 등 신재생 에너지 자원들의 발전량은 기상 상태에 전적으로 의존한다. 마이크로그리드 내에 있는 냉난방공조시스템(Heating, Ventilation and Air Conditioning, HVAC)이나 플러그 전력 사용량 등의 부하 역시도 기온 등의 기상 상태에 민감하게 영향을 받는다. 따라서 기상정보를 수집하는 것으로 부하와 제어 불가능 분산에너지자원의 전력 수급량을 어느 정도 예측하는 것이 가능하며, 예측 결과를 바탕으로 제어 가능 분산에너지자원들의 운전 스케줄에 대한 최적화 계산을 수행할 수 있다.

## III. 최적화 계산

### 3.1 최적화 계산 모듈

본 논문에서 제안하는 마이크로그리드 분산에너지자원 에너지관리시스템의 최적화 계산 모듈 내부 구조를 도식화하면 그림 3과 같다. 그림 3은 그림 2에 포함된 최적화 계산 모듈을 더욱 상세하게 나타낸 것으로, 분산에너지자원 에너지관리시스템의 핵심 알고리즘이 포함되어있다고 볼 수 있다.

앞서 서술한 바와 같이 마이크로그리드 분산에너지자원 에너지관리시스템의 통신 인터페이스는 마이크로그리드 내외에 있는 장치 및 서버들로부터 BACnet과 IEC 61850 프로토콜을 통해 실시간 전력 수급 데이터를 수집한다. 이벤트 서버, 요금제 서버, 기상정보 서버와 같은 외부 서버들의 실시간(기상), 예정(이벤트, 요금제), 또는 예측(기상) 데이터들은 REST/XML 형태로 전달된다.

통신 인터페이스를 통하여 에너지관리시스템으로 전달된 데이터들은 일차적으로 그림 2에 나타난 것과

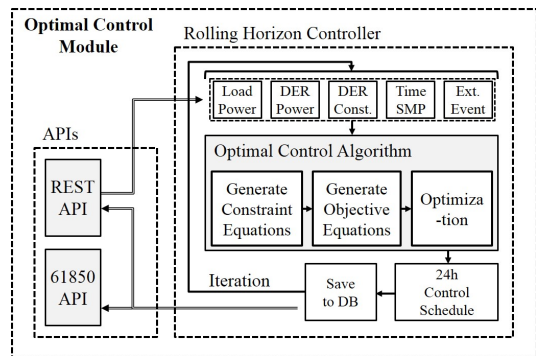


그림 3. 마이크로그리드 분산에너지자원 에너지관리시스템의 최적화 계산 모듈  
Fig. 3. Optimal control module of microgrid DER EMS

표 1. 시간대별 전력 요금 단가표 (산업용(갑) II 고압A 선택 I)  
Table 1. Time varying price plan of electricity (Industrial (A) II HV A Option I)

| Demand Charge (KRW/kW) | Energy Charge (KRW/kWh) |                  |                                 |                  |
|------------------------|-------------------------|------------------|---------------------------------|------------------|
|                        | Time Period             | Summer (Jun~Aug) | Spring/Fall (Mar~May / Sep~Oct) | Winter (Nov~Feb) |
| 6.490                  | off-peak load           | 60.5             | 60.5                            | 67.9             |
|                        | mid load                | 86.3             | 65.3                            | 84.8             |
|                        | peak load               | 119.8            | 84.5                            | 114.2            |

같이 데이터베이스(Database, DB)에 저장된다. 에너지관리시스템 내의 예측 모듈이나 최적화 계산 모듈은 REST 방식으로 데이터베이스에서 필요한 데이터들을 요청하여 계산을 수행하며, 계산 결과 역시 동일한 방식으로 데이터베이스에 저장한다.

마이크로그리드 분산에너지자원 에너지관리시스템의 핵심이 되는 최적화 계산 모듈은 데이터베이스에 저장된 데이터들을 입력 값으로 갖는다. 최적화 계산의 목적함수는 마이크로그리드 전체의 운영비용 최소화이다. 본 논문의 대상 마이크로그리드의 경우 연료 전지나 화력발전 등 연료를 소비하여 발전하는 자원은 존재하지 않는다. 따라서 본 논문에서 고려하는 마이크로그리드의 경우 에너지저장장치라는 분산에너지 자원을 효과적으로 운전하여 마이크로그리드가 전력망 계통 사업자에 지불해야하는 전기요금을 감소시키는 것이 최적운영의 목적이 된다.

에너지관리시스템의 최적화 계산 모듈은 표 1<sup>[11]</sup>과 같이 시간대별로 다른 전력단가가 부여되는 시간대별 요금제 하에서 분산에너지자원을 어떻게 활용하면 계통에 지불해야하는 비용이 최소가 될지를 계산한다. 기본적으로는 전력 단가가 비싼 정오나 저녁 시간대에 분산에너지자원을 통한 방전을 수행하고, 전력 단가가 낮은 새벽 시간대에 충전을 수행하는 것으로 전기요금을 낮추는 것이 가능하다. 그러나 여기에는 정전이나 DR과 같은 외부 제약조건들이 고려되어있지 않기 때문에 실제 최적화 계산 모듈의 계산은 더 복잡한 형태로 이루어진다.

### 3.2 Rolling Horizon Controller

지속적으로 실시간 제어를 수행하는 시스템에 있어 전체 시간대에서의 최적화를 달성하기 위해서는 미래의 데이터가 필요하다. 단순히 과거와 현재의 데이터

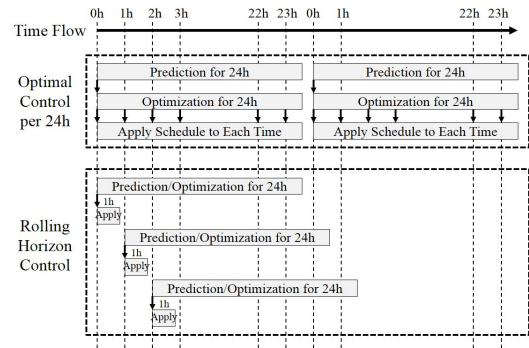


그림 4. Rolling horizon control  
Fig. 4. Rolling horizon control

만을 가지고 최적화 계산을 수행할 경우, 현재 시간까지는 최적화된 결과를 내놓을 수 있으나 미래의 최적 운영에는 오히려 악영향을 줄 수 있다. 따라서 지속적 실시간 제어에서는 예측된 미래의 실시간 데이터 역시도 최적화 계산의 입력으로 들어가야 한다. 본 논문에서 제안된 에너지관리시스템의 경우 그림 2에 나타난 예측 모듈에서 미래의 전력 부하와 발전량에 대한 예측이 이루어진다.

미래의 실시간 데이터에 대한 예측 값은 어디까지나 예측된 것으로 실제와 차이가 존재할 수밖에 없다. 따라서 이를 통해 도출한 최적화 계산 결과 역시 완벽한 최적화를 달성하는 것은 불가능하다.

Rolling horizon control은 실시간 제어에 있어 입력 값으로 사용되는 미래 데이터의 예측 불확실성에서 기인한 오차를 감소시키기 위한 제어 기법이다.<sup>[12]</sup> 그림 4와 같이 지속적 실시간 최적제어에 있어 예측과 최적화 계산을 주기적으로 반복하는 것으로 미래 데이터의 예측 불확실성으로 인한 최적화 계산의 오차를 조금이라도 줄이고자 한다.

본 논문에서 제안하는 마이크로그리드 분산에너지자원 에너지관리시스템의 경우 부하와 제어 불가능 자원의 향후 24시간 전력 수급량을 예측하고, 예측 결과와 시간대별 요금제를 통해 향후 24시간 동안의 제어 가능 자원의 운전 스케줄을 도출한다. 이를 이루어 내는 가장 간단한 방법은 매 24시간마다 예측과 최적화 계산을 수행하고 도출된 스케줄을 24시간동안 적용한 뒤, 24시간 후 다시 예측과 최적화 계산을 반복하는 것이다. 이 방식의 경우 스케줄이 도출된 이후 발생한 24시간치 예측 값과 실제 값의 차이가 누적되어, 24시간 이후 시점에서의 마이크로그리드의 경제성은 최적화 계산 시점에서 예상하였던 값과 크게 달라진다.

에너지관리시스템에 rolling horizon control 방식을 적용할 경우 예측과 최적화 계산은 24시간이 아닌 1시간 간격으로 이루어진다. 24시간에 대한 예측과 최적화 계산을 수행하고 24시간 분량의 운전 스케줄을 도출한 이후 실제로 분산에너지자원에 적용되는 스케줄은 첫 1시간 분량만이 된다. 매 1시간이 지난 이후에는 다시 이후 24시간에 대한 예측과 최적화 계산을 진행하고, 분산에너지자원 운전스케줄을 업데이트한다.

에너지저장장치에 있어 24시간 간격으로 최적화 계산과 적용이 이루어질 경우, 매일 동등한 수준의 운용이 가능하도록 24시간 종료 시점의 SOC는 일반적으로 초기 시점의 값과 동일하게 지정된다. 반면 rolling horizon control은 1시간 간격으로 계속해서 최적화 계산을 수행하고 스케줄을 업데이트하기 때문에 엄밀히 말하여 시작과 종료 시점이 존재한다고 보기 어렵다. 따라서 rolling horizon control의 경우 계산 종료 시점에서의 SOC를 특정 값으로 지정할 필요 없이 범위로 지정하여 많은 가능성을 열어둘 수 있다. 먼 미래에 대하여 도출된 스케줄은 계속해서 업데이트되는 과정에서 그 영향력이 점차 퇴색되며, 실제로 해당 미래 시점에 도달했을 때 도출된 스케줄이 에너지저장장치에 적용되게 된다.

Rolling horizon control 방식의 적용은 분산에너지자원 운전 스케줄을 지속적으로 업데이트하여 예측 오차의 누적으로 인해 발생하는 경제성 최적화 방해 요인을 줄일 수 있다. 선행 연구 문헌에 따르면 마이크로그리드 최적 운영에 있어 rolling horizon control을 적용하는 것으로 18~27%의 운영비용 감소를 이루어 낼 수 있다<sup>[12]</sup>.

### 3.3 운전 스케줄 적용

최적화 계산 모듈에서 rolling horizon control 방식으로 도출된 분산에너지자원 운영 스케줄은 최적화 계산 종료와 동시에 각 분산에너지자원으로 전달된다. 에너지저장장치의 경우 충방전량과 충방전 지속시간을 전달받게 되며, 분산에너지자원과의 정보교환은 국제표준규격인 IEC 61850을 통해 이루어지게 된다. 에너지관리시스템에서 도출한 최적운전 스케줄을 적용하는데 있어 문제가 발생하였을 경우 분산에너지자원은 에러를 나타내는 플래그를 저장해두었다가 향후 에너지관리시스템의 요청에 따라, 혹은 능동적으로 에너지관리시스템에 전달하여 마이크로그리드 관리자로 하여금 운전 과정에서 문제가 발생하였다는 사실을 확인할 수 있도록 한다.

## IV. 결 론

본 논문에서는 전력망 연계형 마이크로그리드의 분산에너지자원을 위한 에너지관리시스템의 구조에 대해 제안하였다. 마이크로그리드 내 분산에너지자원들을 제어하기 위한 에너지관리시스템은 마이크로그리드 전체의 높은 경제성 달성이라는 최적운영 목표 달성을 위하여 필수적인 시스템이다. 에너지관리시스템의 효과적인 운영을 위해서는 마이크로그리드 내외의 다양한 정보들이 수집되어야 하며, 수집한 정보들을 데이터베이스에 저장하고 에너지관리시스템의 원활한 활용이 가능하도록 통신 프로토콜을 지원해야한다.

마이크로그리드 분산에너지자원 에너지관리시스템은 수집 데이터들을 활용하여 예측과 최적화 계산을 수행하고 도출된 운전 스케줄을 각 분산에너지자원에 전달한다. 계산과 통신 과정에서 전체 시스템의 실시간성을 유지하기 위한 속도 측면의 고려가 필요하며, 향후 해당 내용에 대한 연구가 진행되어야 할 것으로 사료된다.

## References

- [1] U. S. Department of Energy, 2012 DOE microgrid workshop summary report(2012), Retrieved Jul., 12, 2016, from <http://energy.gov>.
- [2] J. Y. Kim, J. H. Jeon, S. K. Kim, C. Cho, J. H. Park, H. M. Kim, and K. Y. Nam, "Cooperative control strategy of energy storage system and microsources for stabilizing the microgrid during islanded operation," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 25, no. 12, pp. 3037-3048, Sept. 2010.
- [3] A. A. Moghaddam, A. Seifi, T. Niknam, and M. R. A. Pahlavani, "Multiobjective operation management of a renewable mg (micro-grid) with back-up micro-turbine/fuel cell/battery hybrid power source," *Energy*, vol. 36, no. 11, pp. 6490-6507, Nov. 2011.
- [4] Y. Xiang, J. Liu, and Y. Liu, "Robust energy management of microgrid with uncertain renewable generation and load," *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 7, no. 2, pp. 1034-1043, Jan. 2016.
- [5] Y. Kim, H. M. Oh, and S. Choi, "A method

for simulation of smart grid communication network architecture,” *J. KICS*, vol. 38, no. 2, pp. 122-129, Mar. 2013.

- [6] S. H. Lee, “Development of smart energy profile(SEP) for integrate energy storage system(ESS) at smart home,” *J. KICS*, vol. 41, no. 6, pp. 678-680, Jun. 2016.
- [7] N. G. Myoung, Y. H. Kim, and S. Y. Lee, “A study on AMI system of KEPCO,” *J. KICS*, vol. 35, no. 8, pp. 1251-1258, Aug. 2010.
- [8] S. T. Bushby, “BACnetTM: a standard communication infrastructure for intelligent buildings,” *Autom. Construction*, vol. 6, no. 5, pp. 529-540, Sept. 1997.
- [9] Communication networks and systems for power utility automation - *Part 7-420: Basic communication structure - Distributed energy resources logical nodes*, IEC Std. 61 850-7-420, Mar. 2009.
- [10] R. T. Fielding and R. N. Taylor, “Principled design of the modern web architecture,” *ACM Trans. Internet Technol.*, vol. 2, no. 2, pp. 115-150, May 2002.
- [11] Korea Electric Power Corporation, *Electric Rates Table*, Retrieved Jan. 18, 2017, from <http://home.kepco.co.kr>.
- [12] R. Palma-Behnke, C. Benavides, F. Lanas, B. Severino, L. Reyes, J. Llanos, and D. Sáez, “A microgrid energy management system based on the rolling horizon strategy,” *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 4, no. 2, pp. 996-1006, Jan. 2013.

**최 종 우 (Jongwoo Choi)**



2011년 2월 : 포항공과대학교 기계공학과 졸업  
 2013년 2월 : 서울대학교 기계항공공학부 석사  
 2013년 3월~현재 : 한국전자통신연구원 연구원

<관심분야> 에너지저장장치, 최적제어

**신 영 미 (Youngmee Shin)**



1995년 2월 : 경북대학교 전자계산학과 졸업  
 1995년 2월 : 경북대학교 전자계산학과 석사  
 1995년 3월~현재 : 한국전자통신연구원 책임연구원

<관심분야> 서비스 플랫폼, 통신 서비스, 웹 서비스

**이 일 우 (Il-Woo Lee)**



1992년 2월 : 경희대학교 컴퓨터공학과 졸업  
 1994년 2월 : 경희대학교 컴퓨터공학과 석사  
 2007년 2월 : 충남대학교 컴퓨터공학과 박사  
 1994년 3월~현재 : 한국전자통신연구원 책임연구원

<관심분야> 스마트그리드, 에너지 인포메틱스