

빌딩 에너지운용시스템을 위한 지능형 클라우드 컴퓨팅 환경

김선용, 하태진, 김량수, 임 혁

광주과학기술원

{sunyongkim, tjha, rskim, hlim}@gist.ac.kr

Smart Cloud-Computing Infrastructure for Building Energy Management Systems

Sunyong Kim, Taejin Ha, Ryansoo Kim, and Hyuk Lim

Gwangju Institute of Science and Technology (GIST)

요 약

최근 신재생에너지의 개발 및 활용이 증가함에 따라, 안정적으로 전력을 공급하고 효율적인 전력 사용을 위한 수요반응 제도의 필요성이 부각되고 있다. 본 논문에서는 신재생에너지 발전설비 및 분산에너지자원을 보유하고 있는 스마트빌딩 환경에서 에너지운용시스템의 능동적인 수요반응 참여를 지원하기 위한 지능형 클라우드 컴퓨팅 기술을 제안한다.

I. 서 론

최근 세계적으로 태양광, 풍력 등의 천연자원을 에너지원으로 활용하여 전력을 생산하는 신재생에너지의 개발이 전력생산 분야에 있어서 중요한 흐름이 되었다. 그러나 기존의 원자력 및 화력(석탄, 석유, LNG 등) 발전과 달리 천연자원을 활용한 발전은 계절, 시간, 환경 등의 다양한 요인으로 인해 그 발전량이 급변하는 특성을 가지며, 이는 안정적인 전력공급을 저해하는 요인이 된다. 이러한 환경에서 안정적인 전력공급을 위해 기존의 고정적이고 획일적인 전력계통 운영전략에서 벗어나 전력소비자가 전력계통의 전력수급상황에 능동적으로 반응하여 전력 사용량의 수준을 조정하는 수요반응 제도의 필요성이 부각되고 있다 [1]. 수요반응 제도는 전력수급의 안정성을 제공함과 더불어 스마트그리드 구축을 위한 핵심 정책수단으로, 전력계통의 피크부하를 억제하여 계통신뢰도를 향상 시키거나, 평상시 예비전력을 비축하여 수급 비상상황에 대처할 수 있도록 함으로써 전기사용자의 효율적인 전력 소비를 가능하게 한다 [2].

본 논문에서는 스마트그리드(smart grid) 환경에서 신재생 에너지원(renewable energy sources), 에너지 저장 장치(energy storage system), V2G(vehicle-to-grid) 스테이션 등의 다양한 분산에너지자원(distributed energy resources)과 연계된 스마트빌딩의 에너지운용시스템을 고려했다. 본 시스템은 피크부하 억제, 전력운용 요금 최소화 및 사용자 만족도 향상 등의 안정적인 수요반응을 지원하기 위한 지능형 클라우드 컴퓨팅 시스템으로, 세부적으로는 클라우드 기반 모니터링, 딥러닝 기반 모델링 및 강화학습 기반 전력운용 최적화 기법으로 구성된다.

II. 지능형 클라우드 컴퓨팅 기술

본 논문에서 제안하는 지능형 클라우드 컴퓨팅 기술은 그림 1과 같다. 제안 기술은 1) 유틸리티로부터 공급되는 전력량과 태양광 등의 신재

생에너지 생산량, 스마트 빌딩의 각종 기기들의 모니터링 정보를 수집하고 저장하는 모니터링 단계, 2) 수집된 데이터로부터 스마트빌딩의 전력 모델을 도출하는 모델링 단계, 3) 저장된 데이터 및 전력 모델을 활용하여 스마트빌딩의 전력 운용을 최적화 하는 단계로 구성된다.

II.1 클라우드 기반 모니터링 시스템

제안하는 기술은 외부 전력 공급량, 단일 건물 내 appliances 전력 소비량, 에너지 저장 장치 및 V2G 스테이션의 상태정보, 신재생 에너지원의 발전량 등의 전력정보 뿐만 아니라, 온·습도, 채광량 등의 비(非)전력 정보에 대한 모니터링을 지원하여 모델링 및 최적화 단계의 정확성을 높이고자 한다. 또한, 클라우드 기반 모니터링 네트워크를 구성하여 실시간으로 통합 모니터링 서비스를 제공한다. 수집된 정보의 데이터 통합 및 전처리 등을 원활히 제공하기 위해서는 확장성 있고 유연성 있는 시스템이 필요하다. 데이터 처리 과정은 1) 데이터 스트림 수집 및 전처리, 2) 빅데이터 처리, 및 3) 저장으로 구분할 수 있다.

모니터링 시스템은 오픈스택을 이용하여 클라우드 기반의 모니터링 서비스를 제공한다. 오픈스택은 가상화 컴퓨팅 기술, 소프트웨어 정의 네트워크 등을 제공하는 오픈소스 기반 클라우드 기술로 사용자의 물리 머신을 클라우드 시스템으로 변경할 수 있다. 해당 머신에 데이터 처리용 가상머신, 데이터 분석용 가상머신 등 다양한 가상머신을 구성하여 환경에 맞는 스마트 빌딩 모니터링을 수행할 수 있다. 구성된 클라우드 시스템에서는 Kafka를 통해 데이터 스트림 처리를, Spark를 통한 빅데이터 처리를, 마지막으로 MongoDB를 통해 데이터 저장을 수행하여 모델링과 운영 최적화를 위한 모니터링 정보를 제공한다.

II.2 스마트빌딩 모델링

클라우드 기반 모니터링 시스템을 통해 수집된 빌딩 에너지 데이터를 활용하여 빌딩의 전력운용을 최적화하기 위해서는 단일 빌딩의 열전도특성, 냉난방효율, 빌딩 사용자 행동패턴 등 개별 빌딩의 고유 특

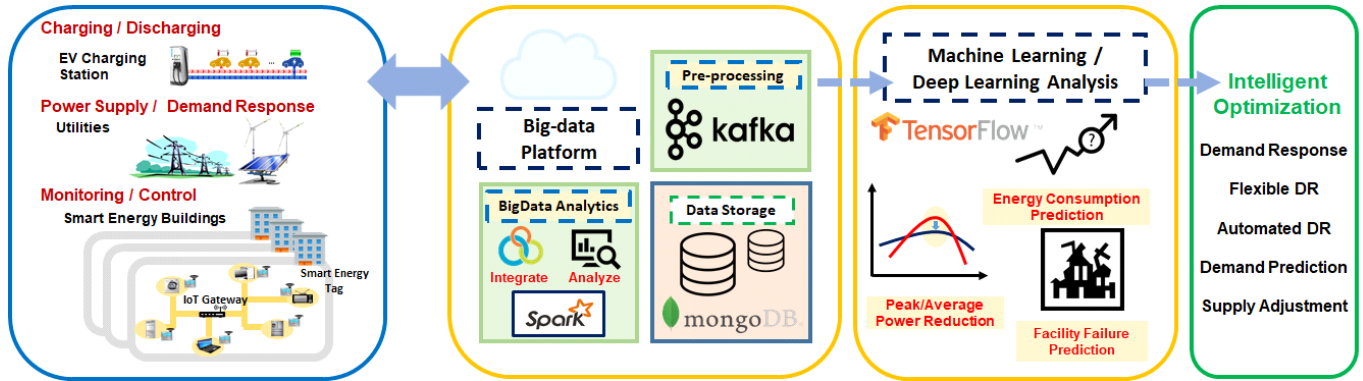


그림 1 클라우드 기반 스마트빌딩 전력운용 시스템 구조

성을 반영한 에너지 환경 모델링이 필요하다. 그러나 정형화된 수학적 모델에 개별건물 특성에 따라 수학적 모델 매개변수를 달리하여 건물의 에너지 특성을 모델링하는 기존의 방법은 개별 건물이 가지고 있는 고유특성을 정확하게 반영하기 어려운 단점을 지니고 있다. 이를 극복하기 위한 방법으로 본 논문에서 제안하는 지능형 클라우드 컴퓨팅 기술에서는 단일 스마트빌딩 에너지 환경 모델링에 딥러닝(deep learning) 기술을 적용한다.

실측된 단일 빌딩 에너지 데이터를 활용하여 딥러닝 기반의 단일 스마트빌딩 에너지 환경 모델을 구축하기 위해서는 딥러닝 환경 구축이 우선적으로 수행되어야 한다. 스마트빌딩 모델링을 위한 딥러닝 프레임워크는 대표적인 딥러닝 플랫폼인 구글 TensorFlow, Berkeley Vision and Learning Center (BVLC)의 Caffe, Python Theano 등 머신러닝 오픈소스 소프트웨어 라이브러리를 활용해 구축 가능하다. 딥러닝 플랫폼을 구축한 뒤, 실측된 단일 빌딩별 빌딩 에너지 데이터를 딥러닝 트레이닝에 적용하면 단일 빌딩 에너지 특성이 포함된 딥러닝 기반 단일 빌딩 에너지 환경 모델링을 구축할 수 있다. 딥러닝 기반 스마트빌딩 모델의 정확도는 딥러닝 트레이닝을 수행하는데 사용되는 빌딩 에너지 데이터의 양에 비례하기 때문에 클라우드 모니터링 시스템에서 충분한 양의 개별 빌딩 에너지 실측데이터를 확보하는 것이 중요하다.

II.3 스마트빌딩 전력운용 최적화

안정적이고 효율적인 빌딩의 에너지운용을 위해서는 클라우드 기반 모니터링 시스템을 통해 수집된 빌딩 에너지 데이터 및 구축된 딥러닝 기반 에너지 환경 모델을 활용한 최적 전력운용 기술의 개발이 필요하다. 빌딩의 전력 소비패턴, 전기요금, 신재생 발전량 등을 고려하여 빌딩의 피크 전력량, 사용자 만족도, 전력운용 요금 등의 다양한 비용함수(cost function)를 정의하고, 이를 최적화하는 전력 운용 알고리즘을 개발한다. 그러나 전력 소비패턴, 전기요금, 신재생 발전량 등의 에너지 환경 정보는 환경에 따라 실시간으로 변동될 수 있기 때문에, 이 정보들의 미래를 예측하기 어렵다는 문제점이 있다. 따라서 전력 운용 알고리즘은 미래 정보에 대한 예측 없이, 현재까지 경험된 정보만을 활용하여 최적의 전력운용 정책(policy)을 도출할 수 있는 강화학습(reinforcement learning) 기법을 적용해야 한다.

강화학습은 에이전트(agent)가 과거의 경험을 바탕으로 미래 상황의 최적화를 위해 현재 상황에서의 최적 정책을 결정하는 기법이다 [3]. 강화학습 기법 기반 전력운용 알고리즘에서는 구축된 딥러닝 기반 모델링을 활용하여 트레이닝 데이터를 생성하고, 이를 통해 에이전트는

오프라인(offline) 강화학습 과정을 수행한다. 동시에 기 학습된 정보를 기반으로 실시간 변동되는 에너지 환경에 따라 온라인(online) 강화학습을 수행함으로써 미래의 비용함수를 최소화 혹은 최소화 할 수 있는 최적의 전력운용 정책을 도출한다.

III. 결론 및 추후 연구계획

본 논문에서는 빌딩 에너지운용시스템의 유연수요반응을 위한 지능형 클라우드 컴퓨팅 기술을 제안하였다. 제안한 지능형 클라우드 컴퓨팅 기술은 빌딩 모니터링, 전력 모델링, 및 전력 운용 최적화로 구성되어 있다. 향후에는 실제로 딥러닝 기반의 전력 모델링 및 강화학습 기반 최적 전력 운용 알고리즘의 구체적인 제안과, 실증 사이트 구축을 통한 클라우드 컴퓨팅 기술의 유효성 및 성능 검증을 수행할 것이다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술연구원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 20171210200810)

참 고 문 헌

- [1] P. Siano, "Demand response and smart grids—a survey," Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 30, pp. 461–478, Feb. 2014.
- [2] 엄영민, 미래전략팀 성장기술실, "수요반응 제도의 개념 및 현황," 전력거래소, 2011.
- [3] R. S. Sutton, and A. G. Barto., "Reinforcement learning: An introduction," 2nd edition, Cambridge: MIT press, 2012.