

제로 에너지 빌딩을 위한 전기에너지 수요예측 시스템

이미리내, 김아현, 염성웅, 김경백
전남대학교 인공지능융합학과

alfsoquf1207@gmail.com, kah6817@gmail.com, yeomsw0421@gmail.com,
kyungbaekkim@jnu.ac.kr

Electric Demand Forecasting System for Zero Energy Building

Mirinae Lee, Ahyun Kim, Sungwoong Yeom, Kyungbaek Kim
Chonnam National University, Dept. Artificial Intelligence Convergence

요약

최근 환경문제로 대두된 에너지 수요 절감 문제 때문에 다양한 재생 에너지 사용 기법들에 귀추가 주목되고 있다. 이 논문에서는 여러 가지 기법 중 재생 에너지를 통해 수요 에너지를 자급하는 제로 에너지 빌딩을 주제로 제로 에너지 빌딩 수요예측 시스템 아키텍처를 제안한다. 이 시스템은 도커 컨테이너를 기반으로 전기 수요예측, 기기 장애 여부 확인 및 경고 알림과 같은 다수의 마이크로서비스를 자동으로 활성화한다. 또한, 이 시스템은 다수의 마이크로서비스로부터 수집된 데이터들을 엘라스틱서치와 키바나를 통해 기기별 전기 수요 현황 및 추세를 모니터링 한다.

1. 서론

최근 환경문제로 인한 지구 온난화 등 체감 가능한 문제점들이 도래한 가운데 많은 국가들이 화석연료 소비 및 온실가스 배출 감소를 위한 저탄소 기술 개발을 목표로 하고 있다. 에너지 소비 측면에서 보면 상업 및 주거용 건물 부문의 전 세계 에너지 소비량은 약 20%로 상당한 비율을 점유하고 있으며, 건물의 에너지 소비는 2018년부터 2050년까지 매년 1.3%씩 증가할 것으로 예상되고 있다. 또한, 건물 부문이 온실 가스의 1/3, 할로 탄소의 2/3, 블랙 카본 배출량의 약 25-33%를 차지함으로써 건물의 에너지 수요절감에 대한 연구가 활성화 되고 있다 [1].

앞서 논의한 건물 에너지 절감을 위한 솔루션으로 컨트롤러를 통해 건물 운영 및 고객의 에너지 소비를 자동으로 규제하는 스마트 빌딩(Smart Building)이나, 재생 에너지를 이용하여 건물 내 수요 에너지를 자급하는 제로 에너지 빌딩(Zero Energy Building)이 있으며 현재 많은 선진국들이 최소 에너지 사용과 지속 가능한 신재생 에너지 현장 생산이라는 이점 때문에 제로 에너지 빌딩을 구현하고 있다.

제로 에너지 빌딩은 건물 전체 에너지 사용량을 수집 및 표시하고, 에너지 효율적인 방향으로 설비를 제어하거나 건물의 운영에 따른 에너지 수요를 예측할 수 있게 빌딩 에너지 관리시스템(BEMS)을 사용한다 [2]. 그러나 에너지 수요예측을 위한 사용에 있어 기존의 BEMS 아키텍처는 사용 시 업데이트 및 배포 속도가 느리고, 전력시스템의 급속한 발전에 대응하기가 어렵다는 단점이 있다. 반면에 기존의 물리적 가상화 방법은 리소스 유연성이 부족

하고 고비용의 하드웨어를 요구한다. 따라서 BEMS를 신속하게 배포 및 업데이트할 수 있고, 보다 낮은 비용으로 가상화되는 경량 아키텍처의 설계가 필요하다.

이 논문에서는 제로 에너지 빌딩을 위한 전기 에너지 수요예측 시스템 아키텍처를 제안한다. 제안하는 시스템은 제로 에너지 빌딩의 효율적인 에너지 관리를 위해 ARIMA 모델을 기반으로 빌딩 내 전기 에너지의 단기적 수요를 예측하고, 이를 도커 기반의 다중 마이크로서비스로 구현하여 모니터링 및 기기 상태를 감지할 수 있게 설계되었다.

2. 관련 연구

2.1 제로 에너지 빌딩

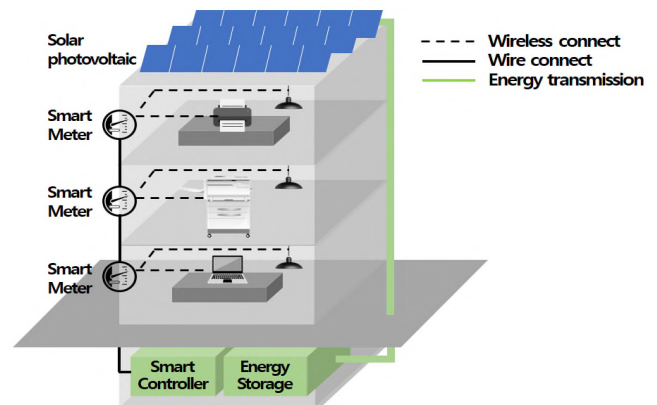


그림 1. 제로 에너지 빌딩 전기 수요량 집계 개념도

제로 에너지 빌딩은 미국 에너지부(DOE)에 "원 에너지를 기준으로 실제 연간 전달 에너지가 현장에서 재생 가

능한 수출 에너지보다 작거나 같은 에너지 효율적인 건물”로 정의되어 있다 [3]. 앞서 정의된 바와 같이 제로 에너지 빌딩의 핵심은 현장에서 재생 에너지 생성 시스템이 장착된 건물 및 전력망과 상호 작용하여, 외부로부터 추가적인 에너지 공급 없이 재생 에너지로부터 빌딩 내 에너지 수요를 충족하는 것이다 [4]. 이 논문에서는 제로 에너지 빌딩 내에서 사용되는 전기 에너지의 수요예측 결과를 바탕으로, 유지보수 담당자 또는 관리자가 보다 합리적인 전기 에너지 생성·관리에 대한 의사결정을 할 수 있도록 시스템을 제안한다.

2.2 ARIMA

ARIMA는 자동회귀(AutoRegressive) 프로세스와 이동평균(Moving Average) 프로세스를 결합한 ARMA를 일반화한 복합 시계열 모델이다. ARIMA는 비정상성 특성이 관찰되는 시계열에서 성능이 낮아지는 ARMA모델의 단점을 극복하기 위해, 통합(integrate) 단계를 추가한다. ARIMA의 통합 단계에서는 Box 및 Jenkins 예측을 통해 비정상성 특성(Non-stationarity)가 관찰되는 시계열로부터 정상성 특성(Stationarity)을 추출한다. 이 논문에서는 제로에너지빌딩에서 수집된 전기 수요량을 예측하기 위해서 ARIMA 모델을 사용한다.

2.3 Docker

도커는 2013년 3월 Docker Inc.에서 출시한 오픈 소스로 컨테이너(Container) 생성·관리 시스템이다. 도커는 기존의 가상화 기술과 달리 하이퍼바이저를 사용하지 않기 때문에 시스템에서 발생하는 오버헤드가 전반적으로 적으며 컨테이너를 기반으로 서비스 구축 및 관리를 가볍고 빠르게 할 수 있다는 점에서 분산 네트워크 시스템 구축에 유리하다. 이 논문에서는 앞서 말한 도커의 이점을 활용하여 서비스별로 독립적인 운영과 확장이 용이하고, 배포가 쉬운 마이크로서비스로 구현하였다.

2.4 엘라스틱서치(ElasticSearch)

엘라스틱서치는 Lucene 정보 검색 소프트웨어 라이브러리를 기반으로 하는 분산 RESTful 검색엔진이다. 다양한 유형의 검색(예 : structured, unstructured, geo, metric)을 지원하고, Peta Byte 규모의 데이터를 실시간으로 저장, 검색, 분석할 수 있게 기능을 제공 한다 [5]. 이 논문에서는 기기의 전기 수요량 데이터를 집계하는 데이터베이스로 사용된다.

2.5 키바나(Kibana)

키바나는 엘라스틱서치에 저장된 데이터를 시각화 할 때 기본 선택사항으로 사용할 수 있는 데이터 시각화 대시보드이다. 로그와 시계열 분석, 애플리케이션 모니터링, 운영 인텔리전스 사용사례에 사용되며 히스토그램, 선형 그래프, 원형 차트, 열 지도, 내장 Geo Point 지원 등의 편

리한 기능을 제공한다. 이 논문에서는 전기 수요량 및 수요예측 데이터에 대한 대시보드를 생성하고 선형 그래프로 수요현황과 증감추이를 모니터링 한다.

3. 제로 에너지 빌딩을 위한 전기 에너지 사용량 수요예측 시스템

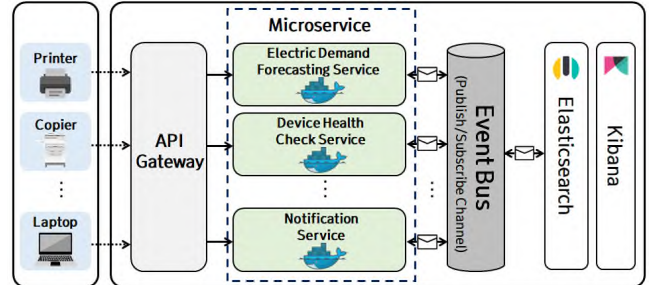


그림 2. 전기에너지 수요예측 시스템 아키텍처

이 논문에서는 제로 에너지 빌딩 내 전자기기들의 전기 에너지 수요량을 바탕으로 수요를 예측하고, 기기에서 발생 가능한 장애이벤트를 감지할 수 있는 전기 에너지 수요예측 시스템을 제안한다. 제안된 시스템은 기기들의 전기 수요량 데이터를 API Gateway를 통해 도커 컨테이너로 구성된 마이크로서비스로 라우팅 한다. 내부 마이크로서비스는 라우팅된 데이터를 통해 전기 수요예측·상태 감시·경고 알림 기능을 수행한다.

3.1. API Gateway

API Gateway는 마이크로서비스 또는 데이터와 접속하고 API 호출 및 액세스 제어, 라우팅, 중개 등 API 실행 환경을 제어하는 관리를 수행한다. 이처럼 다양한 기능 중 대표적인 기능은 라우팅으로, API Gateway는 클라이언트와 마이크로서비스 사이에 위치하며 모든 마이크로서비스에 데이터를 쉽고 안전하게 라우팅 할 수 있도록 지원한다. 이 시스템에서는 API Gateway 라우팅 기능을 사용함으로써, 각 마이크로서비스에 전송하는 기기별 전기 수요량 데이터의 안전성을 보장한다.

3.2. 전기 수요예측 서비스

전기 수요예측 서비스는 빌딩 내 기기들로부터 전송된 전기 수요량 데이터를 집계하고 예측한다. 전기 수요량 데이터는 5분마다 수집되며 실시간으로 엘라스틱서치 데이터베이스로 송신한다. 수집된 전기 수요량 데이터가 일정량 이상이 된다면 기기별 ARIMA 기반 전기 수요예측 모델을 생성한다. 이때, ARIMA 모델의 AR 차수(p), 차분횟수(d), MA 차수(q)는 각각 2, 1, 2를 사용한다. ARIMA(2,1,2) 기반 전기 수요예측 모델은 최근 10일의 데이터를 학습하여 5분 후의 전기 수요량을 예측한다. 예측된 전기 수요량은 실제로 수집된 전기 수요량을 엘라스틱서치 데이터베이스로 송신한다.

3.3. 기기 상태 감시 서비스

기기 상태 감시 서비스는 빌딩 내 전기 수요 기기의 상태를 감시하고, 서비스 연속성을 위협하는 장애이벤트에 대응하도록 지원한다. 이 서비스에서는 Health_check모듈을 사용하여 엘라스틱서치 내 수집된 전기 수요 데이터를 확인하고 기기의 장애여부를 감지한다.

- 1) Fault Detection(장애감지) : exists query를 이용해 엘라스틱서치에 수집된 5분 내 데이터 중 시퀀스 데이터 Field Value가 'Null'인 기기 명을 수집한다.
- 2) Fault Diagnosis(장애진단) : 동일한 기기 명이 5회 이상 카운트 될 시, 기기 장애로 진단한다.
- 3) Fault Recovery(장애복구) : 기기의 장애복구를 위해 경고 알림 서비스로 기기 명이 기입된 장애이벤트를 전송한다.

3.4. 경고 알림 서비스

경고 알림 서비스는 기기 상태 감시 서비스의 장애이벤트 발생 시, E-Mail 또는 문자를 통해 지정된 운영자에게 통보한다. 타 마이크로서비스가 보안상의 문제로 빌딩 내 폐쇄망에 위치해 있다는 가정 하에, 경고 알림 서비스는 도커 컨테이너 NAT(Network Address Translation)를 통해 외부망 통신이 가능하고 [6], 빌딩 외부에 위치한 운영자에게도 경고 알림을 전송할 수 있다.

3.5. Event Bus

Event Bus는 인증 없이 마이크로서비스간의 게시/구독 스타일 통신을 허용하고, 이벤트 발생 시 다른 서비스에 통보할 수 있다. 또한 Event Bus를 통해 마이크로서비스 간 데이터를 전송하거나, 원격 프로시저 호출(RPC)을 사용하여 다른 서비스의 기능을 호출할 수 있다. 이 시스템에서 기기 상태 감시 서비스의 장애이벤트를 경고 알림 서비스로 전송하거나 마이크로서비스 자체 오류이벤트 발생 시 전체 게시(Publish)하는 용도로 사용된다.

3.6. 엘라스틱서치 및 키바나 기반 모니터링 서비스

엘라스틱서치 및 키바나 기반 모니터링 서비스는 전기 수요예측 서비스에 수집된 기기별 전기 수요량 및 수요예측 데이터를 실시간으로 저장하고 키바나 시각화 대시보드를 통해 표출한다. 또한 키바나를 통해 현재 전기 수요량과 수요예측 데이터를 하나의 선형 그래프에 나타냄으로써 데이터의 현황 및 점진적인 추이까지 확인이 가능하다.

4. 결론

이 논문에서는 제로 에너지 빌딩 내의 전기 에너지를 효율적으로 관리하는 방안으로 전기 에너지 수요예측 시스템을 제안하였다. 이 시스템은 ARIMA 모델로 수요를 예측하고, 도커를 이용한 다중 마이크로서비스를 구현하여 단순한 예측 뿐 만 아니라 기기 상태 감시 및 알림 기능

도 함께 제공한다. 추후 시스템 업그레이드를 위한 마이크로서비스 추가 상황을 고려하여, 쿠버네티스 오케스트레이션 기능으로 관리 및 조율할 수 있도록 구현할 계획이다.

Acknowledgement

본 과제(결과물)는 교육부와 한국연구재단의 재원으로 지원을 받아 수행된 사회맞춤형 산학협력 선도대학(LINC+) 육성사업의 연구결과입니다. 본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 대학ICT연구센터육성지원사업의 연구결과로 수행되었음 (IITP-2021-2016-0-00314)

참고 문헌

- [1] Pipattanasomporn, M., Chitalia, G. et al (2020). CU-BEMS, smart building electricity consumption and indoor environmental sensor datasets. *Sci Data* 7, 241.
- [2] Hannan M. A. et al (2018). "A Review of Internet of Energy Based Building Energy Management Systems: Issues and Recommendations," in *IEEE Access*, vol. 6, pp. 38997-39014.
- [3] US Department of Energy (2015). A Common Definition for Zero Energy Buildings, DOE/EE-1247 September.
- [4] Marszal A.J. , Heiselberg P. et al (2011). J.S. Zero Energy Building - A review of definitions and calculation methodologies, *Energy and Buildings*, Volume 43, Issue 4.
- [5] Akdal B., Çabuk Keskin Z. G. et al (2018). "Model-Driven Query Generation for Elasticsearch," *Federated Conference on Computer Science and Information Systems (FedCSIS)*, pp. 853-862.
- [6] Amirante A and Romano S. P. (2019). "Container NATs and Session-Oriented Standards: Friends or Foe?," in *IEEE Internet Computing*, vol. 23, no. 6, pp. 28-37, 1 Nov.-Dec.