

강화학습 기반의 한국형 전력 요금 환경에서의 에너지 저장장치 운영 기술

임재동, 김장겸*, 유윤식, 이일우

세종대학교, ETRI

Jaedong0im@gmail.com, jk.kim@sejong.ac.kr, midasyoo@etri.re.kr, ilwoo@etri.re.kr

Reinforcement Learning-Based Energy Storage Operation Scheme in the Korean electricity tariff environment

Jaedong Im, Jangkyum Kim**, Yoon-Sik Yoo, Il-Woo Lee

Sejong University, ETRI

요약

본 논문은 1분 단위 소비전력 데이터와 상호작용함으로써 에너지 저장장치를 활용하여 건물 내에서의 전력 요금을 최소화 할 수 있는 방법을 제시하였다. 해당 기술은 단기간 예측과 강화학습 모델을 연동하여 구현되었으며, 복잡한 국내 전력 요금 제도하에서 배전단에서의 전력 제어의 효용성을 입증하였다.

I. 서론

스마트 그리드 인프라의 도입됨에 따라 기존의 공급자 중심의 계통 운영에서, 배전단 중심의 전력 제어 방법이 제시되었다 [1]. 대표적인 방법으로 에너지 저장장치 Energy storage system (ESS)의 도입을 통한 배전단에서의 에너지 관리 기술이 등장하였고, 이를 활용한 다양한 환경 및 요금 정책 하에서의 Battery management system (BMS) 운영 방안에 대한 연구가 진행되어왔다 [2].

II. 본론

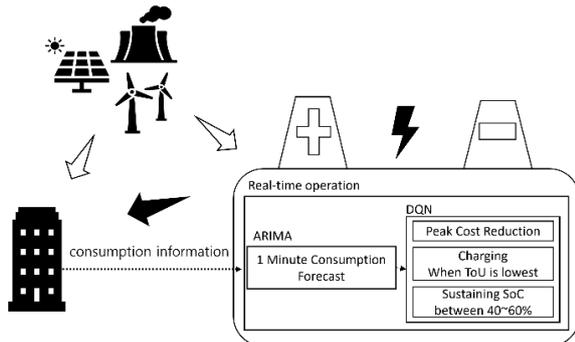


그림 1. System model

그림 1. 과 같이 본 연구에서는 1분단위로 실시간으로 수집되는 소비 전력 데이터를 활용한 BMS 기법을

제안하고 있다. 제안 기법에서는 기 수집된 데이터에 대한 전처리를 진행한 후, Autoregressive Integrated Moving average (ARIMA) 기법을 활용한 단기 수요 전력 예측 방안을 제안하고 있다. 뿐만 아니라, 예측 결과를 활용한 피크 부하 감소에 대한 기준치를 설정 및 Deep-Q-Network (DQN) 모델을 활용한 실시간 BMS 운영 방안을 제안하였다.

i. ARIMA 기반 예측 모델 구축

BMS 는 실시간에 가깝게 운영할 수 있으나, 실제 제어를 위해서는 미래 시점에서의 소비 전력 데이터가 필요하다. 이를 위하여 본 논문에서는 ARIMA 기법을 사용하여 수 분 후의 데이터를 예측하고자 한다. 해당 기법은 다른 예측기법보다 이상치에 강하고, 적은 데이터 셋에서 강인하다는 장점을 갖고 있음에 따라, 제안된 시스템에서의 소비 전력 예측에 적합하다고 판단하였다.

ii. DQN 강화학습 모델 MDP 설계

강화학습은 학습 시간은 길지만, 실제 시스템에 탑재되었을 경우 결과 도출에 걸리는 시간이 짧다는 장점을 갖고 있으므로, 기존의 최적화 기법으로 구현된 BMS 의 연산시간 문제를 해결하는 것이 가능하다 [3].

특히 본 연구에서 다루고 있는 DQN 은 신경망을 이용하기 때문에 모든 상태와 행동에 대한 Q-function 값을 따로 저장하지 않고 근사가 가능하다는 장점을 갖고 있어 BMS 결과값 도출에 사용하였다.

Symbol	Description
SC_t	t 시점의 ESS 에 충전된 전력량 (State of Charge, SoC)
P_t	t 시점의 ESS 의 출력값 (* $P_t > 0$: 충전, $P_t < 0$: 방전).
C_t	t 시점의 건물 소비전력
T_t	t 시점의 계시별 요금제
A_t	t 시점에 에이전트가 선택한 행동
B	ESS 의 용량
η	ESS 의 충, 방전 효율

표 1. Nomenclature

제안된 모델에서 ESS 는 현재의 시점 보다 미래의 소비전력과 계시별 요금제(ToU)를 함께 고려해서 행동을 선택하기 때문에 미래 시점의 정보들이 필요하다. 본 논문에서 ESS 의 행동(S_t)는 다음과 같은 10 개의 변수를 바탕으로 결정이 되도록 구현하였다.

$$S_t = (SC_t, P_t, C_t, T_t, C_{t+1}, T_{t+1}, C_{t+2}, T_{t+2}, C_{t+3}, T_{t+3}) \quad (1)$$

본 연구에서는 국내 요금제를 고려하여 (1) 건물 내 소비 전력의 피크부하, (2) 계시별 요금제의 가격, (3) 배터리 열화 비용을 고려하여 각 상태에서의 행동을 결정하게 하였다. 이 때, 배터리의 SOC 변화와 이에 따른 출력값을 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$SC_t = SC_{t-1} + P_t / B * 100 * \eta \quad (2)$$

$$P_t = P_{t-1} + A_t \quad (3)$$

III. 시뮬레이션

본 연구에 사용된 데이터는 약 31 일 간 측정된 건물의 1 분 단위 소비 전력 데이터이고, 배터리 효율은 0.9, 최대 부하 비용을 줄이기 위한 기준치는 400Wh 로 설정했다.

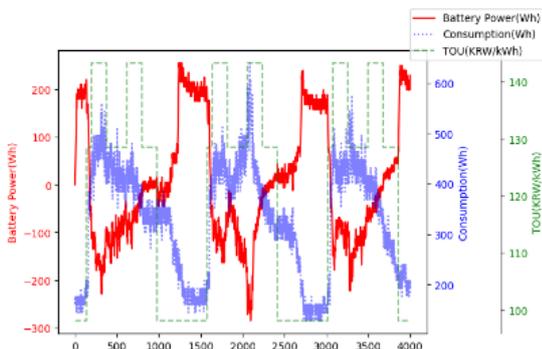


그림 2. DQN 기반 BMS 운영 결과

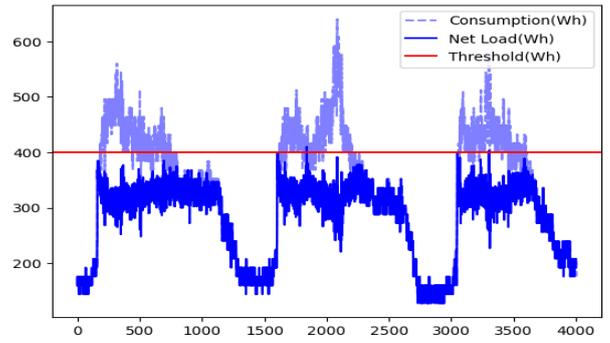


그림 3. 제안 모델의 피크 절감 효과 분석

그림 2. 에서 전력 요금이 높거나 기준치보다 높은 소비 전력을 사용하는 경우, ESS 가 방전하는 것을 확인할 수 있었다. 뿐만 아니라, 그림 3. 과 같이 건물의 소비 전력을 Threshold 이하로 낮추고, 전력 가격이 저렴한 시간대에는 배터리를 충전하는 행동을 취하는 것을 확인하였다. 이를 통해, BMS 가 SoC 를 안정적으로 유지시키는 정책을 제대로 학습하였음을 확인할 수 있다.

IV. 결론

본 논문은 복잡한 한국형 전력 요금제에 적합한 강화학습 기반의 BMS 기법을 제안하고 있으며, 실제 환경에서 수집한 1 분 단위의 건물 데이터를 활용하여 제안된 기법의 실효성을 입증하였다. 제안된 기법을 적용할 경우 배터리의 퇴화를 최소화 하면서 소비자의 수익을 극대화 하는 배전단에서의 전력 제어 기법을 도입하는 것이 가능함을 입증하였으며, 이를 활용할 경우, 다양한 수요자원 시장으로의 소비 전력 사용자들의 진입을 가능함을 확인할 수 있었다.

ACKNOWLEDGMENT

This work was supported by the Korea Institute of Energy Technology Evaluation and Planning (KETEP) and the Ministry of Trade, Industry & Energy (MOTIE) of the Republic of Korea (No. 20202020900290).

참고 문헌

- [1] Min-Ju Sim, et al. "2023 Global Smart Grid Drivers and Technologies trend research analysis" 대한전기학회 학술대회 논문집. (2023): 39-43.
- [2] 황우현, "전력저장장치(ESS) 기술동향과 국내외 시장 전망" The Korean Institute of Electrical Engineers. 68 (11) (2019): 8-13.
- [3] Li, Yang, et al. "Coordinating flexible demand response and renewable uncertainties for scheduling of community integrated energy systems with an electric vehicle charging station: A bi-level approach." IEEE Transactions on Sustainable Energy 12.4 (2021): 2321-2331.