

전력예측 기반 에너지관리시스템 연계형 에너지 저장 시스템 운영 기술

안병웅*, 장문종*

한국전력공사 전력연구원

Power Prediction-based Energy Management System-Linked Energy Storage System Operation Technology

Byoung-Woong An*, Moon-Jong Jang*

KEPCO Research Institute

ABSTRACT

기존의 연구 및 발명에서 연구된 에너지 저장 시스템 운영 기술은 시스템을 구성하는 전력 수요 예측 기술이 완벽하다는 전제하에 연구되었거나, 예측 기술의 복잡도가 매우 높은 연구 사례가 대부분이다. 완벽한 예측 기술은 현실적으로 불가능하나, 복잡한 예측 기술을 활용하면 완벽하지 않아도 높은 정확도의 예측 전력 수요 결과를 얻을 수 있다. 또한 예측 전력 수요를 기반으로 도출한 ESS 운영 계획을 실제 전력 수요에 적용할 경우 예측의 오차로 인해 ESS 운영 중 발생할 수 있는 혼란을 방지하는 기술도 필요하다. 이에 전력예측 기반 에너지 관리시스템 연계형 에너지 저장 시스템 운영 기술에 대해 제안한다.

1. 서 론

에너지 기술의 패러다임이 생산에서 소비로 전환되면서 '제한된 에너지를 효율적으로 사용하기 위한 기술'이 새로운 화두로 떠오르고 있고, 에너지 관리 시스템(Energy Management System, EMS)의 등장은 이러한 변화와 궤를 같이한다. EMS의 등장과 함께 센서, 네트워크, 인공지능 기반 제어 등 EMS에 필요한 기술들이 많이 연구되고 있으며, 에너지 저장 시스템(Energy Storage System, ESS)도 그 중 하나다.

EMS에서 ESS를 활용할 수 있는 기술 중 가장 많이 연구되고 있는 기술은 에너지 비용 절감 기술로, 시간에 따라 단위요금이 다른 전기 요금제 환경에서 요금이 낮은 시간에 ESS를 충전하고 요금이 높은 시간에 방전하는 방법으로 ESS를 운영하는 기술이다. 일반적으로 요금이 높은 시간에 전력 수요가 높으므로 ESS를 운영하면서 시간에 따라 전력을 재분배하면 요금이 높은 시간대의 전력 수요가 낮아지므로 전기 요금을 줄이는 효과를 얻을 수 있다. 하지만 본 기술을 상용화하기 위해선 전력 수요 예측 기술이 필요하다.

기존의 연구 및 발명에서 연구된 에너지 저장 시스템 운영 기술은 시스템을 구성하는 전력 수요 예측 기술이 완벽하다는 전제하에 연구되었거나, 예측 기술의 복잡도가 매우 높은 연구 사례가 대부분이다. 완벽한 예측 기술은 현실적으로 불가능하나, 복잡한 예측 기술을 활용하면 완벽하지 않아도 높은 정확도의 예측 전력 수요 결과를 얻을 수 있다. 하지만 이런 복잡한 프로세스의 기술 연구에는 필연적으로 많은 데이터 및 시간과 비용이 투자된다. 또한 예측 전력 수요를 기반으로 도출한

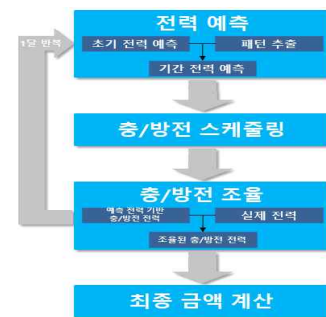


그림 1 제안하는 운영기술 구성

ESS 운영 계획을 실제 전력 수요에 적용할 경우 예측의 오차로 인해 ESS 운영 중 발생할 수 있는 혼란을 방지하는 기술도 필요하다.

2. 본 론

2.1 전력 예측

본 단계에서는 장단기 메모리(Long-Short Time Memory, LSTM)로 예측한 초기 전력과 과거 전력 데이터로 패턴을 예측하여 단위 기간 내의 전력을 예측한다. 예측 기간의 초기 전력은 직전의 전력 기록을 LSTM의 학습 데이터로 활용하여 예측할 수 있다. 시간에 따라 연속으로 나열된 데이터에서 연속된 일부 데이터와 바로 다음으로 이어지는 데이터의 연관성을 찾고, 한 단위씩 이동하면서 입력 데이터와 출력 데이터 간의 연관성을 학습한다. LSTM의 최종 단계는 마지막에 예측하고자 하는 한 단위의 데이터를 학습한 연관성을 통하여 예측하는 것이다. 이를 전력 예측에 적용하면 마지막의 예측 데이터는 예측 기간의 초기 전력이고, 학습에 사용되는 데이터는 직전의 전력 기록이다. 그러나 ESS 스케줄링에 활용하기 위해선 예측 기간 내 다수 단위의 전력 수요를 한 번에 예측해야 하므로, LSTM으로 예측한 초기 전력에 적용할 전력 패턴이 필요하다.

전력 패턴 단계에서는 계절, 요일, 휴일 여부 등으로 과거의 전력 패턴 데이터를 선별한 뒤 예측 기간을 기준으로 최근 날짜의 데이터에 큰 가중치를 부여하여 예상 전력 패턴을 계산한다. 전력 패턴은 단위 기간의 초기 전력에 대한 기간 내 전력의 비율로 정의한다. 전력 패턴 계산 및 예상 패턴 도출 수식은 아래와 같고, 예측한 초기 전력과 예상 전력 패턴을 곱하면 예측 전력 수요를 얻을 수 있다.

$$[\hat{l}(t)]_{t \in D} = \frac{[l(t)]_{t \in D}}{l(t_1)}, [\hat{l}_o(t)]_{t \in D} = \frac{\sum_{i \in N} w_i [\hat{l}_i(t)]_{t \in D}}{\sum_{i \in N} w_i}$$

구성분	내 용
t	시간
D	시간으로 구성된 집합
$l(t)$	시간에 대한 전력 수요
$l(t_1)$	초기 전력
$[l(t)]_{t \in D}$	D 동안의 전력 수요
$[\hat{l}(t)]_{t \in D}$	D 동안의 전력 패턴
N	선별한 과거 전력 패턴 데이터 개수
$[\hat{l}_i(t)]_{t \in D}$	선별한 과거 전력 패턴 중 i 번째 패턴
w_i	i 번째 패턴에 부과되는 가중치
$[\hat{l}_o(t)]_{t \in D}$	예상 전력 패턴

2.2 충/방전 스케줄링

해당 단계에서는 볼록 최적화(Convex Optimization)를 기반으로 이전의 전력 예측 단계에서 예측한 전력 활용하여 충/방전 스케줄링을 진행한다. 최적화 단계에서는 예측 전력, ESS의 용량 및 시간 단위 충/방전 제한, ESS의 충/방전 효율, 계시별 요금제와 피크 요금제의 단위 요금을 활용하여 충전 및 방전 전력을 계산한다. 최적화의 목적함수는 계시별 요금제(Time-of-Use, ToU)와 피크 요금제로 구성된 일별 전기 요금으로 하며, 이를 최소화하는 방향으로 최적화를 진행한다. 최적화 단계를 수식으로 정리하면 다음과 같다.

$$\text{목적 함수 : } \min \sum_{t \in D} \mu(t)(l(t) + p_c(t) - p_d(t))\Delta t + \alpha\eta$$

$$\text{변수 : } p_c(t), p_d(t), \eta$$

구성분	내 용
$\mu(t)$	시간에 대한 계시별 요금제
$p_c(t)$	시간에 대한 ESS 충전 전력
$p_d(t)$	시간에 대한 ESS 방전 전력
α	매일 최대 부하에 적용되는 요금
η	매일 최대 부하

계시별 요금제는 매일 자정을 기준으로 반복되므로 최적화 단계도 자정 기준 24시간 단위로 진행된다. 충전 및 방전 전력은 ESS의 최대 충전 및 방전 용량을 초과하지 않고, ESS의 누적 전력량은 ESS의 최대 저장 용량을 초과하지 않는다.

2.3 충/방전 조율 및 요금 계산

이전의 스케줄링 단계에서 계산한 충/방전 전력은 예측 전력을 기반으로 하고 있다. 즉, 이 스케줄링 결과를 실제 전력 부하에 그대로 적용하면 사용 전력보다 많은 전력을 방전하여 잉여 전력이 발생하는 등의 오류가 발생할 수 있다. 이를 해결하기 위한 단계가 불완전 정보 모델(Imperfect Information Model)로, 현재 충/방전 가능한 최대 충/방전 전력을 계산하고, 스케줄링한 현재 시각의 충/방전 전력과 비교하여 실시간으로 조율하는 모델이다. 불완전 정보 모델의 수식은 아래와 같다.

$$p_{c,r}(t) = \min(\bar{P}, (\bar{E} - E(t-1))/u_c), \mu(t) \leq \mu_c$$

$$p_{d,r}(t) = \min(\bar{P}, u_d E(t-1), l(t)), \mu(t) \geq \mu_d$$

구성분	내 용
$p_{c,r}(t)$	조율된 충전 전력
$p_{d,r}(t)$	조율된 방전 전력
u_c	ESS의 충전 효율
u_d	ESS의 방전 효율
μ_c	충전 상한 요금제
μ_d	방전 하한 요금제
$\bar{E}$	ESS 용량
$E(t)$	t 에서의 누적 전력량
$\bar{P}$	ESS 충/방전 용량

충전 상한 요금제는 항상 방전 하한 요금제보다 낮으며, 이는 조율 과정에서 충/방전 작업을 제한하여 운영의 혼란을 방지하기 위한 것이다. 전기 요금 계산은 1개월 단위로 행해지며, 계시별 요금제와 최대 부하 요금제, ESS 투자비의 합으로 계산된다. 계시별 요금은 전력망에서 공급받은 실 전력량으로 계산하고, 최대 부하 요금은 현재 달의 실 전력 중 최고값으로 계산한다.

2.4 운영기술 적용에 따른 효과

본 발명의 주 목적은 EMS에서 ESS를 운영하여 전기요금을 절감하는 것이고, 부차적인 목적은 간단한 구조의 전력 예측 기술로 개발 및 운영에 필요한 데이터와 시간 및 비용을 줄이는 것이다. 높은 정확도의 예측 기술을 실현시키기 위해선 많은 데이터와 시간을 투자해야 하고, 완벽에 가까운 예측 기술에는 더 많은 투자가 필요하다. 그러나 아무리 많은 데이터와 시간을 투자해도 완벽한 전력 예측은 현실적으로 불가능하고, 이는 ESS 운영으로 얻는 이득에 비해 연구에 투자되는 비용이 훨씬 커지는 결과를 낼 수 있다. 본 연구의 의의는 적은 정보와 시간의 투자로도 ESS 운영에 사용할 수 있는 전력 예측 알고리즘을 개발할 수 있고, 다소 정확도가 낮은 전력 예측 기술로도 ESS를 운영하여 경제적 이득을 얻을 수 있다는 데에 있다. 아래 표는 본 발명에서 연구한 시스템을 운용하지 않은 경우와 운용한 경우를 비교하여 한 달 동안의 비용을 계산한 결과이다.

	ESS 운용	ESS 미운용
계시별 요금(원)	22,367,184	23,784,020
최대 부하/요금(kW/원)	556.56/4,630,586	579.96/4,825,267
ESS 용량/비용(kWh/원)	800/1,000,000	-
총합(원)	27,997,770	28,609,287

3. 결 론

본 논문에서는 전력예측 기반 에너지관리시스템 연계형 에너지 저장 시스템 운영 기술하였다. 추후 K-BEMS 플랫폼과 적용 및 운영을 통해 효과를 검증해야 한다.

참 고 문 헌

[1] 장문중, “한전형 스마트빌딩 통합운영기술 개발(2차년도) 보고서”, 한국전력공사, 2022