전력 예측 모델을 이용한 계절 변동성 기반 동적 계약전력 최적화

김상욱[1], 정운철[2], 이충호[2], 허태욱[2], 신한솔[2]*
[1]숭실대학교, [2]*한국전자통신연구원
[1]ouk4856@soongsil.ac.kr, [2]{wjeong, leech, htw398, *hansol.shin}@etri.re.kr

Seasonal Contract Electricity Optimization using Forecasting Model

Kim Sangouk[1], Jeong Wun-Cheol[2], Lee Chungho[2], Heo Tae-Wook[2], Shin Hansol[2]*
[1]Soongsil University, [2]*Electronics and Telecommunications Research Institute

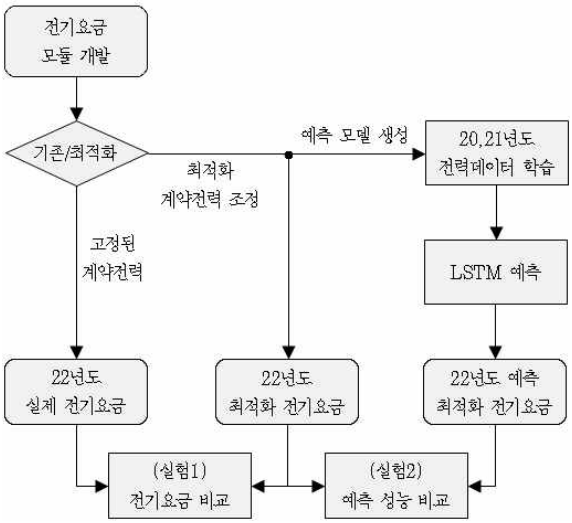
요 약

에너지 비용 상승과 환경 규제 강화에 따라, 산업체는 에너지 사용을 최적화하여 자원 낭비를 줄이고 탄소 배출을 감소시키는 동시에 경제적 이익을 극대화해야 하는 상황에 직면해 있다. 본 논문은 효율적인 전기요금 계산을 위한 새로운 접근 방식을 제시하며, 인공지능 기법을 이용해 계약전력을 예측하는 방법론을 다룬다. 계절적 변동과 수용변화를 고려한 전력 계약의 최적화를 목표로 하며, 전력 소비 패턴 분석과 예측 정확도 향상을 통해 비용 절감과 효율적인 전력 자원 관리 방안을 모색했다.

Ⅰ. 서 론

산업 부문에서 전력은 운영의 핵심 자원으로, 안정적이고 효율적인 공급이 필수적이다. 대부분의 산업체는 한국전력공사와 고정된 계약전력을 기반으로 연간 계약을 체결하고 있다. 따라서, 편의점 전력수요를 예측하여 최적의 계약전력을 제안하거나[1], 아파트의 전력 계약방식을 계절별로 변경하는 연구가 수행되었다[2]. 본 논문에서는 이러한 접근방법을 융합하여, 미래 전력 소비량을 예측하고 계절별 변동을 반영한 요금제 최적화를 제안함으로써, 각 산업시설의 미래 에너지 비용 산정 및 계획과 국가적 전력 수요 최적화에 도움이 되고자 한다.

본 논문에서 수행된 절차는 그림 1과 같다. 우선, 전기요금을 계산하는 모듈을 개발 후, 이를 기반으로 최적화 모듈을 제작하여 과거 데이터를 이용해 최적화 전과 후 성능을 비교 검토했다(실험 1). 그 후, 기계학습 모델을 활용해 전기 소비량을 예측하고, 실제 소비량과 비교하여 예측 성능을 평가했다. 또한, 예측값에도 요금 최적화 모듈을 적용하여 전기요금에 대한 예측 성능도 평가했다(실험 2).



〈그림 1〉 연구 절차

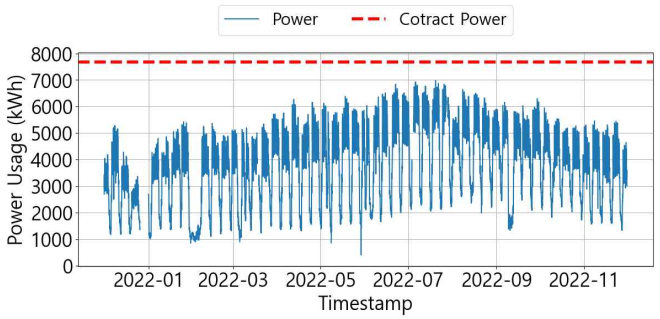
Ⅱ. 본 론

2.1 전기요금 최적화 모듈 작성 및 검토

산업시설의 전력 요금을 산정하기 위해서는 계약전력, 전압, 설비가동률을 선택해야 하며, 경부하/중간부하/최대부하 시간대의 총 사용량을 계산해야 한다. 계약전력은 최대사용량(피크)이 4kW 이상 300kW 미만이고 저압 전력이 필요한 경우 '산업용(갑) Ⅰ'을 선택하며, 계절별과 부하별 요금제가 필요한 경우 '산업용(갑)Ⅱ'를 선택한다. 또한, 300kW 이상일 경우 '산업용(을)'을 선택한다. 전압은 저압(220V, 380V), 고압 A(3,300V 이상 66,000V 이하), 고압 B(154,000V), 고압 C(345,000V 이상)를 선택할 수 있다. 마지막으로 설비가동률(전기 사용 시간)이 월 200시간 이하인 경우 '선택Ⅰ', 월 200시간 초과 500시간 이하는 '선택Ⅱ', 월 500시간 초과는 '선택Ⅲ'으로 계약하도록 한국전력공사에서 안내하고 있다[3].

본 연구의 전기요금 최적화 모듈은 분석 기간의 피크 사용량을 기반으로 임의의 여유율 10%를 가산하여 계약전력을 계산하며, 계약전력과 사용자가 선택하는 저전압/고전압 사용 여부에 따라 '산업용(갑) Ⅰ', '산업용(갑)Ⅱ', '산업용(을)'을 선택한다. 또한, 설비가동률에 따른 전기요금제는 요금 최적화 모듈을 통해 선택된다.

본 논문에서는 전기요금 최적화 모듈 성능 검토를 위해, 분석 대상 산업시설을 서울특별시에 위치한 식품 제조시설 L社로 선정하고, 2020년부터 2022년까지 15분 단위로 측정된 전력 소비를 이용하여, 최적화 전·후의 전기요금을 비교했다. 최적화 이전의 전기요금은 다음과 같이 계산된다. 대상 시설의 2021년 12월부터 2022년 11월까지의 1년간 전력 소비 피크값에 여유율을 가산하여 계약전력 7,676kW 및 산업용(을) 선택을 가정했다(그림 2). 또한, 3,300V 전압을 사용하는 것으로 가정하여 고압 A를 선택했다. 그리고 전기요금은 2024년 7월 1일부터 기준을 적용했다(표 1). 따라서, 연간 고정 요금제에 의한 실제 전기요금은 선택Ⅰ에 해당하는 755,954,920원으로 도출되었다.

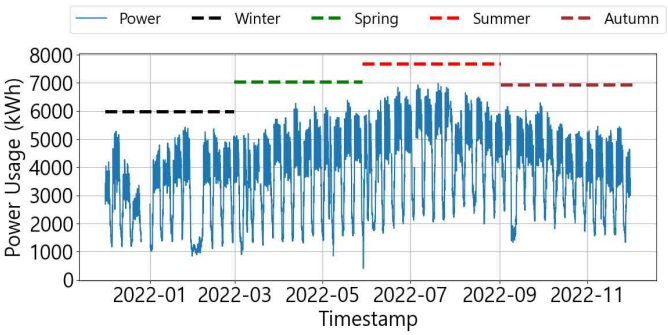


〈그림 2〉 전력 사용량(파란 실선) 및 계약전력(빨간 점선)

〈표 1〉 부하별, 계절별 전력량 요금

전력량 요금(원/kWh)	여름	봄, 가을	겨울
경부하	99.5	99.5	106.5
중간부하	152.4	122.0	152.6
최대부하	234.5	152.7	210.1

산업용 전기요금표의 계절 구분은 봄(3-5월), 여름(6-8월), 가을(9-10월), 겨울(11월-2월)이다. 따라서, 최적화 모듈을 이용하여 각 계절별 구간의 전력 피크에서 여유율을 가산하여 계약전력을 설정하였고, 이를 기반으로 전기요금을 계산했다(그림 3). 그림 3의 파란색 실선은 전력 사용량을 나타내며, 계절 변동성에 따른 계약전력을 표시하는 점선은 초록색(봄), 빨간색(여름), 갈색(가을), 검정색(겨울)으로 구분된다. 본 계절별 동적 요금제를 이용하여 전기요금을 계산한다면 3.54%(26,743,970원)의 비용 절감이 가능하다(표 2).



〈그림 3〉 계절 변동성 기반 동적 계약전력(점선)

〈표 2〉 요금제에 따른 전기요금 비교

계절	실제 전기요금		최적화 전기요금	
	계약전력	전기요금	계약전력	전기요금
겨울	7,676kW	₩755,954,920	5,962kW	₩159,053,850
봄			7,018kW	₩185,000,230
여름			7,676kW	₩204,349,570
가을			6,921kW	₩180,804,300
합계	7,676kW	₩755,954,920	(평균)6,894kW	₩729,213,950

2.2 예측 모델 개발 및 성능 검토

본 연구에서는 2020년부터 2년간 데이터를 이용해 2022년 계약전력 및 부하별 소비량 예측을 수행했다. 데이터 전처리 과정으로 월별 최대 전력값과 부하별 합산 전력량을 산출했다. 예측 모델은 시계열 데이터의 장기 패턴 학습에 유리한 LSTM(Long Short-Term Memory)을 활용했다[4]. LSTM 모델 제작 과정에서, Min-Max 스케일을 이용해 정규화를 진행했다. 2011년 12월부터 2022년 11월까지의 1년간 실제 소비량 및 계약전력 추정치와 예측된 부하별 전력 사용량 및 계약전력의 오차는 표 3과 같다. LSTM 모델의 예측 오차는 모든 항목에서 10% 이하로 계산되었다(표 3). 그리고 최적화 전기요금 729,213,950원과 예측 최적화 전기요금 741,419,970원의 차이는 1.67%(12,206,020원)로 계산되었다. 즉, 최적화 모듈이 모델 예측 불확실성을 감소시킬 수 있다. 환언하면, 예측 모델에 최적화 모듈을 적용하면 실제 전기요금 대비 1.92% 절감을 기대할 수 있다.

〈표 3〉 2021.12~2022.11 기간의 전력 소비 데이터와 예측값 비교

계절	항목	경부하 소비량 [kWh]	중간부하 소비량 [kWh]	최대부하 소비량 [kWh]	계약전력 [kW]
겨울 (21.12 - 22.02)	실제	2,491,281	2,156,334	1,690,658	5,962
	예측	2,682,497	2,368,591	1,858,146	5,934
	차이	191,216	212,257	167,488	28
	오차	**7.68%**	**9.84%**	**9.91%**	**0.46%**
봄 (22.03 - 22.05)	실제	3,257,100	2,847,900	2,174,509	7,018
	예측	3,336,946	2,950,353	2,295,058	7,174
	차이	79,846	102,453	120,549	156
	오차	**2.45%**	**3.60%**	**5.54%**	**2.22%**
여름 (22.06 - 22.08)	실제	3,895,008	3,333,700	2,536,404	7,676
	예측	3,994,715	3,419,215	2,595,253	8,011
	차이	99,707	85,515	58,849	335
	오차	**2.56%**	**2.57%**	**2.32%**	**4.36%**
가을 (22.09 - 22.11)	실제	3,312,758	2,892,002	2,222,935	6,921
	예측	3,029,306	2,634,715	2,014,055	6,489
	차이	283,452	257,287	208,880	432
	오차	**8.56%**	**8.90%**	**9.36%**	**6.24%**

Ⅲ. 결 론

본 논문에서는 분석 대상 건물의 3개년 전력 소비량을 이용하여 LSTM 예측 모델을 개발하고, 계절 변동성에 기반한 전력 요금제 최적화를 수행했다. 계절별 변동과 수요 변화에 대한 정확한 예측을 통해, 계약전력을 효율적으로 조정함으로써 불필요한 전력 사용을 줄이고, 전력 수급 불균형을 최소화할 수 있다. 이러한 조정은 단순히 비용 절감을 넘어, 에너지 자원의 효율적인 사용을 촉진하며, 산업 운영 전반에 걸쳐 안정성과 생산성을 향상시킬 수 있을 것으로 기대한다. 추후 연구로서, 예측 모델에 학습시킨 과거 에너지 사용량 뿐만 아니라 공장의 전력 소비에 직접적으로 영향을 미치는 생산량 정보를 추가로 학습시킨다면 더 정확한 예측을 할 수 있을 것으로 기대된다. 이를 통해 산업 부문에서 효율적인 전력 자원 관리와 경제적 이점을 제공하고자 한다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. RS-2023-00237018)

참 고 문 헌

[1] 김상민, 박찬권, 이지은. (2022). XGBoost 회귀를 활용한 편의점 계약전력 예측 모델의 최적화에 대한 연구. *한국 IT 서비스학회지*, 21(4), 91-103.

[2] 정우경, 정범진, 김동식. (2020). 고압수전 아파트에서의 전력 공급을 위한 단일과 종합 계약 방식의 분석. *전자공학회논문지*, 57(10), 87-95.

[3] 한국전력공사. (2024). 한글 전기요금표. *한전ON*. https://online.kepco.co.kr/PRM004D00

[4] 장민석, 고락경, 홍종희. (2023). 에너지다소비 업종의 전력사용량 시계열 데이터 예측. 대한전기학회 학술대회 논문집, 10(2), 364-365.