울산시에 위치한 문화센터로 사용되는 A건물의 2023년 8월 8일부터 2022년 10월 19일까지의 데이터를 분석한다. 기상청 api를 통해 얻은 울산시의 온도, 강수량, 풍속, 습도, 일조시간, 일사량 등의 외부 환경 변수들과 A건물의 ‘사용 목적’에 따른 시간당 전력 사용량을 이용해 예측모델을 만들고 그 성능을 평가한다.

* 데이터 시각화 및 통계적 분석

총 기간, 주간평균, 일별평균

텍스트, 스크린샷, 폰트, 라인이(가) 표시된 사진

자동 생성된 설명텍스트, 스크린샷, 도표이(가) 표시된 사진

자동 생성된 설명텍스트, 도표, 그래프, 라인이(가) 표시된 사진

자동 생성된 설명

텍스트, 도표, 스크린샷, 그래프이(가) 표시된 사진

자동 생성된 설명.

텍스트, 스크린샷, 다채로움, 패턴이(가) 표시된 사진

자동 생성된 설명

텍스트, 스크린샷, 직사각형, 평행이(가) 표시된 사진

자동 생성된 설명

총 기간에 대한 시계열 그래프 분석 결과, 에너지 사용량이 점차 감소하는 추세를 보이는 것이 확인되었다. 이는 기온이 낮아짐에 따라 냉방을 위한 에너지 사용이 줄어들었기 때문으로 추정된다. 또한 광복절과 추석과 같은 공휴일에는 에너지 사용량이 현저히 감소하는 것을 관찰할 수 있었다. 이에 따라 공휴일 여부를 중요한 변수로 고려하기로 결정했다.

일반적으로 공휴일을 제외하면 요일별 에너지 사용량의 차이는 크지 않은 것으로 나타났다. 시간대별로는 전열 용도를 제외한 다른 용도의 경우, 주로 오전 9시부터 오후 6시 사이에 에너지 사용량이 집중되는 경향을 보였다. 전열의 경우에도 기저 사용량이 존재하지만 전반적인 사용 패턴은 유사하게 나타나, 운영 시간 여부도 중요한 변수로 추가하기로 결정했다

건물의 에너지 소비에 있어 재실 인원은 중요한 변수 중 하나로 나타났다. 분석 결과, 재실 인원은 시간(hour)에 따라 변화하는 경향이 있음을 확인할 수 있었다. 또한, 분포도와 상관계수 분석을 통해 시간이 에너지 사용량에 미치는 영향이 상당함을 알 수 있었다. 이를 바탕으로 시간(hour)을 중요한 변수로 추가하기 위해 푸리에 변환(Fourier Transform)을 진행했다.

추가적으로, 기존의 동적 건물 에너지 해석에 사용되는 엔지니어링적 접근법에서 차용한 불쾌지수, 체감온도, 냉방도시(냉방도일의 변형)와 같은 변수들도 모델에 포함시켰다. 이러한 변수들의 추가는 건물 내 에너지 소비 패턴을 보다 정밀하게 분석하고 예측하는 데 기여할 것으로 기대된다.

* 에너지사용량 예측모델 개발

기계학습을 이용하여 에너지 사용량을 예측하는 모델을 개발하였다. 이를 위해 파생변수의 사용 여부, 용도별 데이터 분리 여부, 운영 시간 분리 여부 등을 고려하여 총 8가지의 다양한 예측 모델을 구축하였다. 이 중 기본 모델과 최대 성능을 내는 모델을 중점적으로 비교 분석하였으며, 모든 소스코드는 GitHub[[1]](#footnote-1)에 공개하였다.

이 모델들의 성능 평가는 에너지 사용량 예측의 목적을 고려하여, 무작위로 train set과 test set을 분리하는 대신, 특정 기간(2023년 8월 14일부터 2023년 10월 16일까지)의 데이터를 train set으로, 그 이전과 이후의 데이터를 test set으로 사용하였다. 모델의 성능 평가는 ASHRAE에서 제시한 CV(RMSE) 기준을 사용하였으며, 이 기준에 따라 ±30%의 범위[[2]](#footnote-2) 내에서 만족하는 성능의 모델을 개발하였다.

모델 구축에는 CatBoost, Xgboost, LightGBM과 같은 알고리즘을 사용하여 어셈블 기법을 적용하였다. 이러한 다양한 기법과 알고리즘을 활용함으로써, 에너지 사용량 예측의 정확도를 높이고자 하였다.

결과

1. 기본 모델 – 파생변수 N, 용도별분리 N, 운영여부 분리 N
   1. Feature Importance

텍스트, 스크린샷, 도표, 라인이(가) 표시된 사진

자동 생성된 설명

* 1. 성능 - CV(RMSE) SCORE: 27.210724041744665
  2. 실제값과 예측값 비교 그래프

텍스트, 폰트, 라인, 친필이(가) 표시된 사진

자동 생성된 설명

1. 최대 성능 모델 - 파생변수 Y, 용도별분리 Y, 운영여부 분리 N
   1. Feature Importance

텍스트, 스크린샷, 번호, 라인이(가) 표시된 사진

자동 생성된 설명

* 1. 성능 - CV(RMSE) SCORE: 24.031282431446797
  2. 실제값과 예측값 비교 그래프

텍스트, 폰트, 라인, 도표이(가) 표시된 사진

자동 생성된 설명

결론

모델 성능의 한계로는, 대상 건물에 설치된 관제점이 적어서 외부 환경 지수만을 사용하여 예측 모델을 만들 수밖에 없었던 점이 있다. 만약 HVAC 시스템의 성능 지표(예: 냉동기의 COP)나 재실 인원 추적과 같은 BEMS의 기능을 충분히 활용할 수 있다면, 더 나은 예측 모델을 개발할 수 있을 것이다.

냉난방도시의 기준 온도를 변화시켜 얻은 value를 모델에 적용해서 얻은 예측값을 활용한다면, BAS 시스템에서 사용하는 HVAC 시스템의 셋포인트 설정에 도움이 될 것으로 보인다. 이는 향후 에너지 절감을 위한 중요한 방법이 될 수 있다.

Appendix

* Source Code Github address : <https://github.com/imbbeck/building_energy_ml_thesis.git>
* 10개 모델 성능 지수:

통모델\_PURE CV(RMSE) SCORE: 27.210724041744665

부분모델\_PURE CV(RMSE) SCORE: 25.600041441534156

통모델\_DV\_N\_OP\_N CV(RMSE) SCORE: 26.745063922742723

부분모델\_DV\_N\_OP\_N CV(RMSE) SCORE: 25.598869180428803

통모델\_DV\_N\_OP\_Y CV(RMSE) SCORE: 25.96832896714864

부분모델\_DV\_N\_OP\_Y CV(RMSE) SCORE: 26.281358623251133

통모델\_DV\_Y\_OP\_N CV(RMSE) SCORE: 24.426776810624204

부분모델\_DV\_Y\_OP\_N CV(RMSE) SCORE: 24.031282431446797

통모델\_DV\_Y\_OP\_Y CV(RMSE) SCORE: 24.340871994404132

부분모델\_DV\_Y\_OP\_Y CV(RMSE) SCORE: 24.968757940916458

Reference

* 강병욱·김철현, 에너지 수요 전망을 위한 기후 지표 개선 연구, KEEI 기본연구보고서 ; 12-12 , 2018
* 박광수, 에너지소비에 대한 기온변화의 영향 분석, KEEI 기본연구보고서 ; 12-12, 2012
* 정진화·채영태, 건물유형별 에너지소비 예측성능 향상을 위한 변수중요도 및 기계학습모델 평가, 한국건축친환경설비학회 논문집, 11, 586-598, 2017
* 김동일·이병호, 데이터 기반 건물에너지소비량과 기후요소 상관관계 분석, 대한건축학회 학술발표대회 논문집, 2017
* 황지현·이태원, 저비용, 고성능 건물에너지관리시스템(BEMS) 운영관리 알고리즘 개발, 대한설비공학회 학술발표대회논문집, 2022
* 윤진하 외, Change Point Model을 활용한 대학건물의 에너지 소비패턴 분류 및 에너지 영향인자에 따른 분석, 대한건축학회 논문집-구조계, 33, 71-78, 2017
* 손은조 외, 건물 열에너지 수요예측을 위한 주기별 기계학습 모델 개발에 관한 연구, 대한건축학회 학술발표대회 논문집, 2018
* 이주상 외, 건물에너지 수요예측을 위한 변수 선정방법에 관한 연구, 대한건축학회 학술발표대회 논문집, 2018
* Xuezheng Wang·Bing Dong, *Physics-informed hierarchical data-driven predictive control for building HVAC systems to achieve energy and health nexus*, Energy and Buildings Volume 291, 2023

1. https://github.com/imbbeck/building\_energy\_ml\_thesis.git [↑](#footnote-ref-1)
2. 정진화·채영태, 건물유형별 에너지소비 예측성능 향상을 위한 변수중요도 및 기계학습모델 평가, 한국건축친환경설비학회 논문집, 11, 586-598 (2017), p.591 [↑](#footnote-ref-2)