



데이터 기반의 에너지 관리 서비스 아이디어 도출: 구미국가산업단지의 데이터를 활용한 사례연구

Tagir Salakhov, 전민욱, 최재준, 김민준*
국립금오공과대학교 산업공학과

서론

- 구미국가산업단지는 기계, 전자전기 중심의 제조기업이 집적한 50년이 넘는 단지로 4개의 단지로 구성된 단지임. 입주업체 수는 2,474개사, 고용인원: 80,968명, 생산액은 46조1,778억원, 수출액은 249.6억달러의 규모임.
- 구미국가산업단지 기업 대상으로 한 설문조사[1]에 따르면, 산단 내 기업들은 에너지 관리에 대한 관심이 높음. 노후된 장비의 교체 보다 에너지 관리 시스템을 구축하는 것이 비용 효율적임에 따라 산단 내 기업들은 이러한 시스템 구축을 시도하고 있음.
- 에너지 시스템 구축을 위해서는 에너지 사용량을 예측하는 모델의 개발[2]이 필요하며, 비슷한 특성을 보이는 기업들간의 에너지 사용량 상대적으로 비교하는 모델[3]이 필요함.
- 이에 본 연구에서는 한국전력공사에서 수집한 전력 사용량 데이터를 활용하여, 전력 사용량 패턴이 비슷한 기업들을 군집화하고, 군집별 대표 전력 사용량 예측 모델을 개발함. 이때 군집화 기법으로는 Dynamic Time Warping 군집화 방법 (DTW)을, 예측 모델은 Long Short-Term Memory (LSTM)을 활용하였음.
- 더 나아가 예측 모델을 활용한 산업단지 내 기업들의 에너지 관리를 지원하는 서비스 아이디어를 제시하였음.

데이터 설명

- 한국전력공사에서는 구미산업단지 1145개 기업의 에너지사용 기록을 시간단위로 수집하고 있으며, 현재까지 수집된 데이터는 약 2년 간의 데이터임. (2020.01.01 ~ 2021.12.31)
- 데이터에는 해당 기업의 위치, 계약하고 있는 전기 종류, 산업분류 정보와 같이 기업정보 부분과 해당 기업의 일별 시간단위로 전력사용량 정보를 포함하고 있음. 자세한 정보는 아래 표와 같음.

기업 정보						전력 사용량 정보							
구분	계약번호(기업)	계약종 코드	계약종	산업분류코드	산업분류(2단계)	날짜	1시(kWh)	2시(kWh)	...	24시(kWh)			
1공단	구미4259	322	산업용(갑)II고압A	24122	1차 금속 제조업	2020.01.01	7.00	7.51	...	7.32			
1공단	구미4259	322	산업용(갑)II고압A	24122	1차 금속 제조업	2020.01.02	7.31	7.25	...	7.33			
...			
2공단	구미6683	726	산업용(을)고압A	06200	금속 광업	2020.01.01	8.19	8.10	...	7.73			
2공단	구미6683	726	산업용(을)고압A	06200	금속 광업	2020.01.02	24.85	26.36	...	24.35			
...			
4공단	구미7735	736	산업용(을)고압B	24122	1차 금속 제조업	2021.12.31	21.92	23.52	...	14.49			

예측 모델 개발

- 산업분류마다 전력 사용의 패턴이 다르기 때문에 전체 산업 대상으로 예측 모델을 개발하는 것이 아닌, 특정 산업 분류를 지정하여 모델을 개발함. 본 연구는 구미 산단 내 기업 수가 가장 많은 “전자부품/컴퓨터 / 영상 / 음향 및 통신장비 제조업” 기업의 데이터를 분석함.
- 데이터 전처리 시 결측치 보완을 위해 선형보간법을, 이상치 제거를 위해 사분위수를 활용하였음.

서비스 대상 기업 선정
(349개 기업)

전처리

전력 패턴을 기반으로 한
군집화 수행 (4개 군집)

군집별 전력 사용량
예측 모델 개발

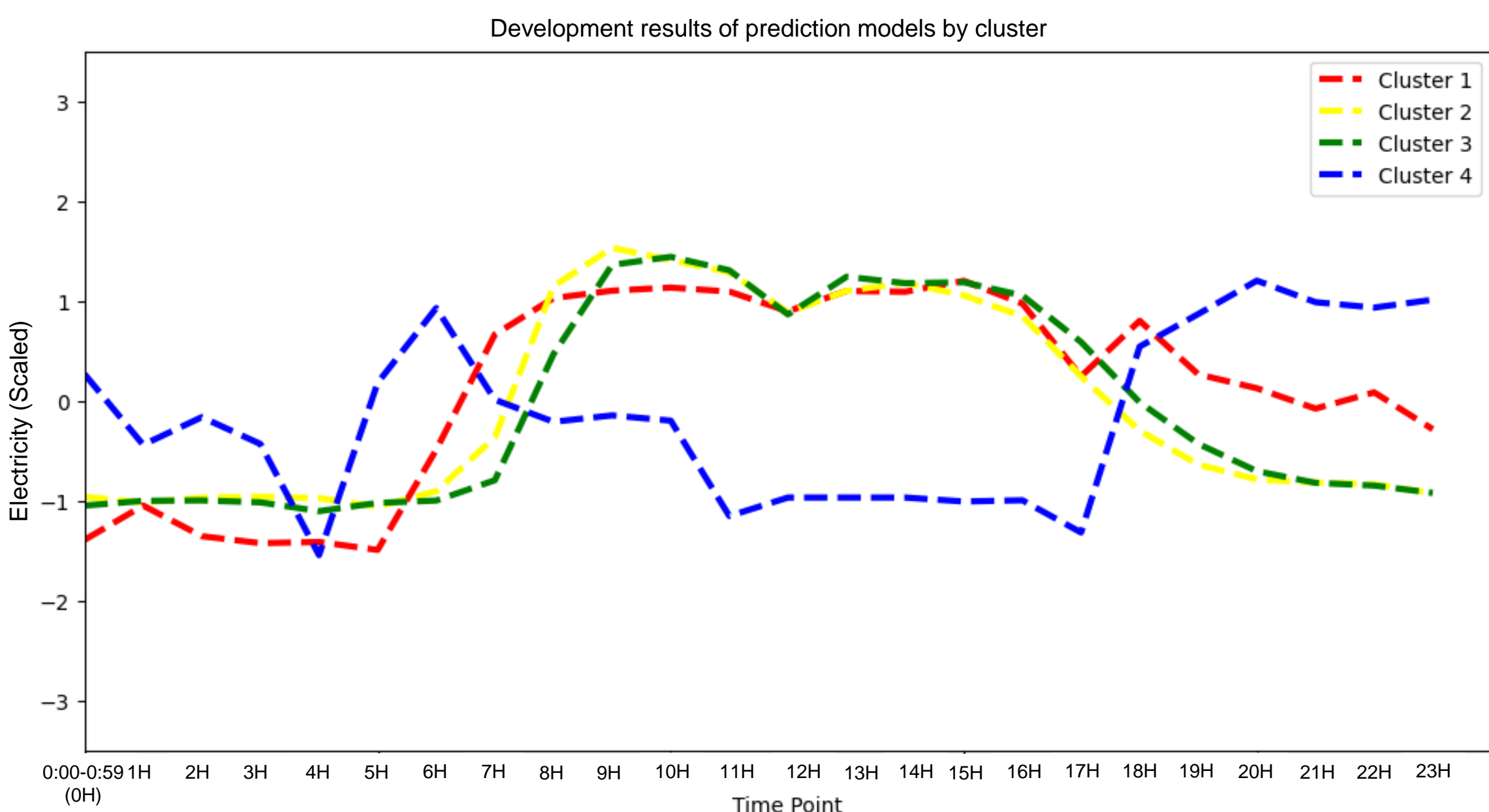
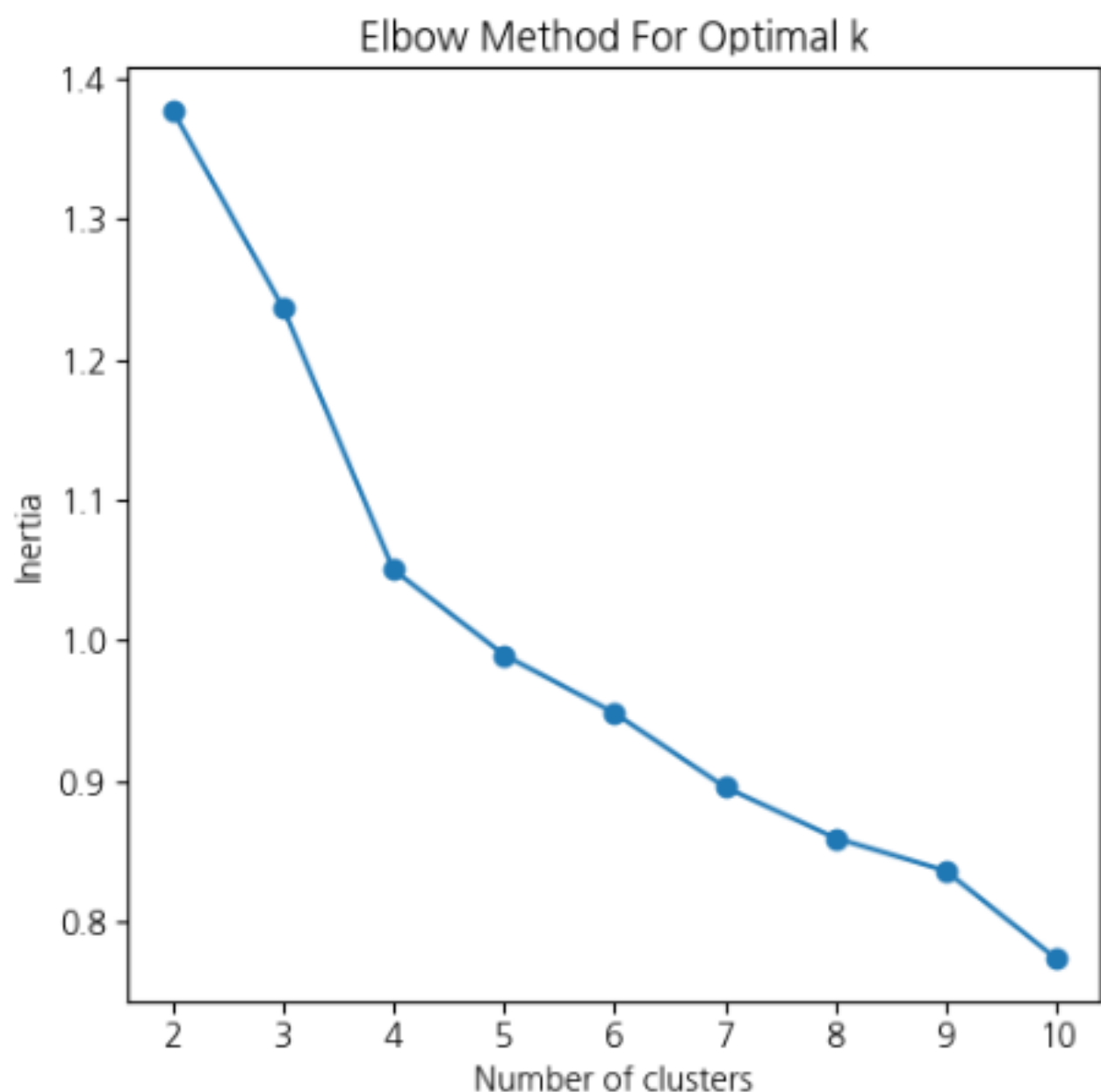
- 구미 산단 내 "전자부품/ 컴퓨터/ 영상/ 음향 및 통신장비 제조업" 기업은 전체 기업의 30.5%로 타 분야 대비 기업 수가 가장 많음.
- 예측 정확도를 높이기 위해 각 기업별 최대 사용 전력량을 도출하고, 이를 기반으로 서비스 대상 기업을 세분화함.

- 시계열 데이터의 구조를 유지하기 위해 결측값을 보완할 때에는 가장 가까운 이웃들의 가중평균 값을 사용하였음.
- 이상치를 처하는 과정에서 각 날짜별 최대값이 발견되었으며, 이후 사분위수를 활용하여 이상치가 식별되었음.

- 2년치 데이터를 하루로 aggregation하고, 이를 각 회사별 대표 전력 사용량 패턴이라 가정하였음.
- 대표 시계열 패턴을 DTW를 활용해 군집화하고, 이를 기반으로 각각의 전력 사용량 패턴 특성 파악하였음. 이때 엘보우 기법과 실루엣 기법을 활용해 최적의 군집 수를 정의함.

- 군집 내 여러 회사들의 2년치 데이터를 LSTM 알고리즘을 활용해 예측 모델을 개발함.
- 여러 실험을 통해서 정한 Hyperparameter: 활성화 함수(relu), 뉴런 개수 (50), 최적화 함수(adam), 손실 함수(Mean squared error), Timestamp(24), epoch(200), Batch size(32)

- 시계열 클러스터링 결과



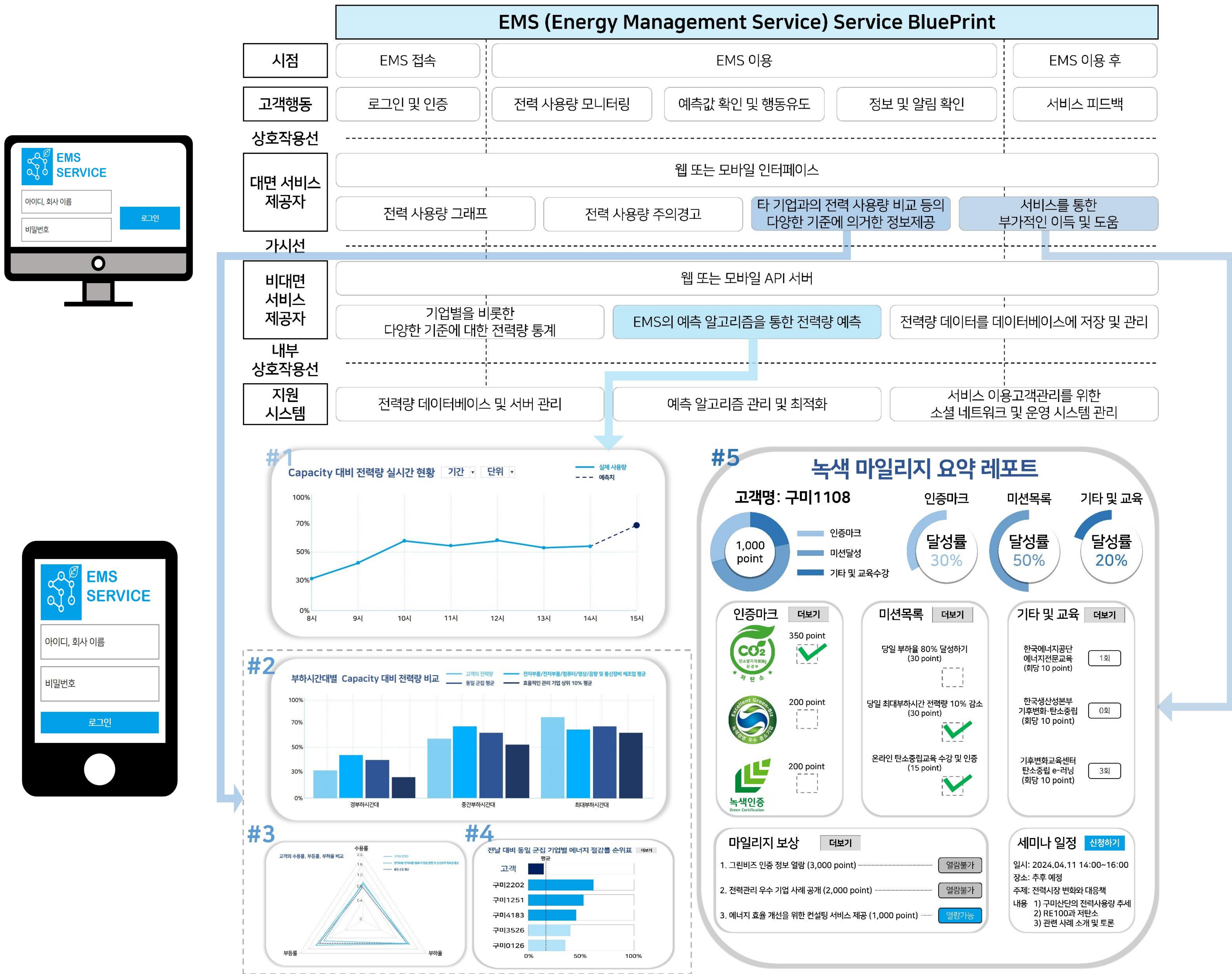
- 군집별 패턴 특징
1번 그룹(49개 기업): 5시부터 전력량이 늘어나고 19시 이후에도 높은 전력량을 가진 패턴을 보임
2번 그룹(134개 기업): 6시부터 전력량이 늘어나고 19시 이후 줄어드는 패턴을 보임
3번 그룹(158개 기업): 6시부터 전력량이 늘어나고 19시 이후 줄어드는 패턴을 보임
4번 그룹(8개 기업): 하루 종일 전력량이 일정한 패턴을 보임

- 군집별 모델 결과

1번 그룹		2번 그룹		3번 그룹		4번 그룹	
평균 R ²	평균 MAE	평균 R ²	평균 MAE	평균 R ²	평균 MAE	평균 R ²	평균 MAE
0.837	0.048	0.811	0.053	0.829	0.051	0.454	0.120

서비스 아이디어

- “구미 산단 내 기업들의 CEO” 를 에너지 관리 서비스의 고객으로 가정하고, 이들을 위한 서비스 아이디어를 도출함. 또는, Web으로 전달한다고 가정하고 제공하는 서비스는 다음과 같음.
 - #1: 사용 전력량의 과거 기록을 관리하고, 1시간 뒤의 예측되는 전력량을 제공하는 정보임. 각 기업의 전력 수용량에 대한 사용량 비율과 1시간 후의 예상 사용량을 시각적으로 나타냄.
 - #2 부하시간대별 Capacity 대비 전력량을 4가지의 기준에 따라서 비교하는 서비스임. 부하시간대별 전기요금을 예상하며 특히, 전기요금이 비싼 시간대의 전력량 비율 관리에 도움을 줌.
 - #3 전력 시스템의 운영 및 관리 목적으로 3가지 지표와 레더 차트를 활용해 시각화한 지표임.
 - #4 랭킹제를 통한 전날 대비 에너지 절감률을 시각화하여 에너지 절약 행동 유도함.
 - #5: 게임화 기법을 적용하여 행동 유도 및 실천으로 취득한 포인트로 서비스의 심화 기능을 사용할 수 있는 부가 서비스임.



결론 및 한계점

- 본 연구에서는 DTW를 활용하여 구미산단기업의 전력 사용 패턴을 기준으로 기업들을 군집화하였음. 또한, 군집별 대표 전력량 예측 모델을 개발하고, 이를 활용하여 에너지 관리 서비스에 대한 아이디어를 제시함.
- 제한된 데이터 기반의 에너지 관리 서비스는 산업단지 내 기업들의 에너지 절약 행동을 유도하고, 전력 손실을 최소화하는데 기여할 것으로 기대됨.
- 시간별 전력량 데이터만으로 전력량 예측을 함으로써 예측률 수치와 군집화에 있어서 제한되는 점이 존재함. 만약, 기업의 생산량, 매출을 비롯한 기업들의 기본 정보와 같은 추가적인 데이터가 있었다면 기존보다 더 높은 예측률과 최적화된 기업별 맞춤 서비스를 기대할 수 있음.

참고문헌

- [1] Gyeongbuk Institute for Technological Cooperation (2023). Survey and demand research on companies related to the Gumi Industrial Complex Authority's Smart Energy Cluster.1-90.
- [2] Duflou, J. R., Sutherland, J. W., Dornfeld, D., Herrmann, C., Jeswiet, J., Kara, S., ... & Kellens, K. (2012). Towards energy and resource efficient manufacturing: A processes and systems approach. CIRP annals, 61(2), 587-609.
- [3] Kim, H., Park, S., & Kim, S. (2023). Time-series clustering and forecasting household electricity demand using smart meter data. Energy Reports, 9, 4111-4121.

Acknowledgments

본 연구는 한국산업단지공단, 경북구미 스마트그린산업단지 에너지자급자족 인프라 구축 및 운영사업에서 제공하는 데이터를 활용하여 수행되었음
본 연구는 2021년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 일반공동연구지원사업 (NRF-2021S1A5A2A03065747)의 지원을 받아 수행된 연구임