

사무용 빌딩의 효율적 에너지 관리를 위한 전력 사용량 예측 기반 수요 반응 알고리즘 연구

윤석호*, 김봉준*, 김범주**, 한정훈**, 조충호*

*고려대학교 컴퓨터정보학과

**누리텔레콤 기술연구소

e-mail:bluepig5@korea.ac.kr, aorlekd@nate.com, bjkim@nuritelecom.com, uncle@nuritelecom.com, chcho@korea.ac.kr

Power consumption predictions based Demand Response Algorithm Research for efficient energy management in office buildings

Seok-Ho Yoon*, Bong-Jun Kim*, Beom-Ju Kim**, Jeong-Hun Han*, Choong-Ho Cho*

*Computer & Information Science, Korea University

**Technology Research Center, Nuri telecom

요 약

본 논문은 실제 사무용 빌딩의 전력 사용량 빅 데이터를 이용하여 효율적인 에너지 사용 및 빌딩 에너지 수요 반응 관리를 위해 전력 사용량 기준 클러스터링을 통한 분석결과를 제시하고 분석된 클러스터링 결과를 기반으로 전력 사용량 예측모델을 설계하였다. 예측모델을 통해 도출된 전력 사용량과 실제 빌딩의 실측 데이터 사이의 오차율을 계산하여 예측모델의 타당성을 보였으며 이를 토대로 에너지 예측 사용량 기반 효율적인 수요 반응 제어 알고리즘을 제시하였다.

1. 서론

가적으로 에너지 부족문제가 대두되면서 에너지의 효율적인 사용을 위한 연구들이 지속적으로 이루어지고 있다. 특히 빌딩 에너지 분야는 국내 총 에너지 소비의 약 25% 이상을 차지하고 있으며 에너지 소비는 점차 늘어나 전체 에너지 소비량의 40% 이상으로 증가할 것으로 예상[1]되며, 이러한 문제를 해결하기 위해 종합적이고 체계적인 에너지 수요 관리 방법이 요구되고 있다.

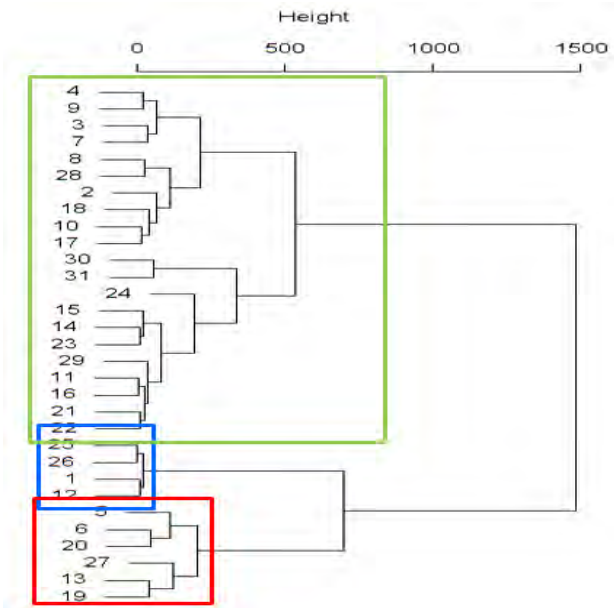
이러한 추세에 발맞춰 본 연구에서는 국내 중소기업의 실제 사무용 빌딩을 모델로 하여 빅 데이터 기반 전력 사용량 데이터를 분석하고 효율적인 빌딩 에너지 수요 관리 방안을 제시하고자 한다.

실측 데이터를 이용하여 사무용 빌딩의 전력 사용량 빅 데이터 기반 전력 사용량 데이터에 대한 클러스터링 분석을 진행하였다. 분석된 결과를 토대로 효과적인 소비예측 모델을 도출하고 이를 예측 값에 대한 오차율을 계산하여 검증함으로써 에너지 소비 예측을 예측 사용량 기반 효율적인 수요 반응 제어 알고리즘을 제시하였다.

2. 빌딩 에너지 빅 데이터 기반 전력 사용량 클러스터링 분석

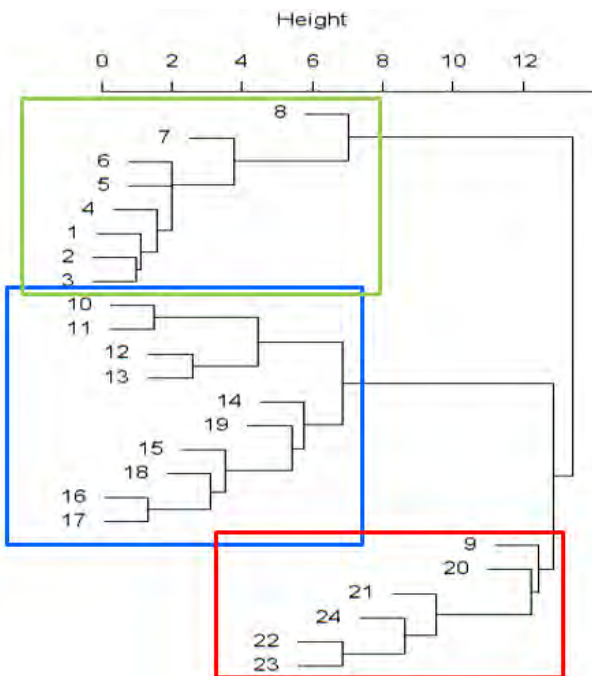
효과적인 소비 예측 모델의 도출을 위해 N빌딩의 실측 전력 사용량 데이터를 사용하여 데이터들 사이의 유사성 판단을 위해 클러스터링 분석을 수행하였다. 유클리디안 거리를 사용하여 거리의 척도로 유사성을 판단하였고 실측 데이터의 분포상태에 따라 계층적 군집 분석 방법 중 평균 연결법을 사용하여 분석하였다. 2013년 1년간의 데이터를 이용해 클러스터링 결과를 분석하였고 통계프로그램인 R을 사용하여 분석[2]하였다.

그림1은 2013년 1월 한 달 간 N빌딩 전체 전력 데이터에 대한 일별 클러스터링 결과를 보여준다. 2013년 1월의 1일(공휴일)과 5, 6, 12, 13, 19, 20, 27일(주말)은 각각 공휴일과 주말로 전력 사용량의 유사도에 따라 평일과 휴일 및 주말이 서로 다른 그룹으로 클러스터링 되는 것을 볼 수 있다. 녹색 상자로 표시된 부분이 2013년 한 달 간의 평일을 나타내고 있으며 빨간색 상자로 표시된 부분이 2013년 한 달 간 휴일을 나타내고 있다. 파란색 박스로 표시된 부분은 전력 사용량 데이터의 오류가 발생한 부분으



(그림 1) 2013년 1월 한 달간 N빌딩 전체 전력 데이터에 대한 일별 클러스터링 결과

로 해당 부분만 따로 클러스터링 되어지는 것으로 보아 본 클러스터링 분석이 재대로 이루어 졌음을 알 수 있다. 위 결과를 토대로 평일과 휴일에 대한 사용량 성향이 다르게 나타남을 알 수 있고 보다 정확한 예측을 위해 평일과 휴일에 대한 구분된 예측 기법이 사용되어야 함을 알 수 있다.



(그림 2) 2013년 3월 25일의 N빌딩 전체 전력 데이터에 대한 시간별 클러스터링 결과

그림2은 2013년 3월 25일 N빌딩 전체 전력 데이터에 대한 시간 별 클러스터링 결과를 보여준다. 결

과를 보면 N빌딩의 시간 별 전력 사용량은 크게 3 가지 유형으로 구분되는 것을 알 수 있다. 본 논문에서는 구분되어지는 각각의 시간 유형을 업무 외 시간, 업무유형1, 업무유형2로 나누어 정의하였다.

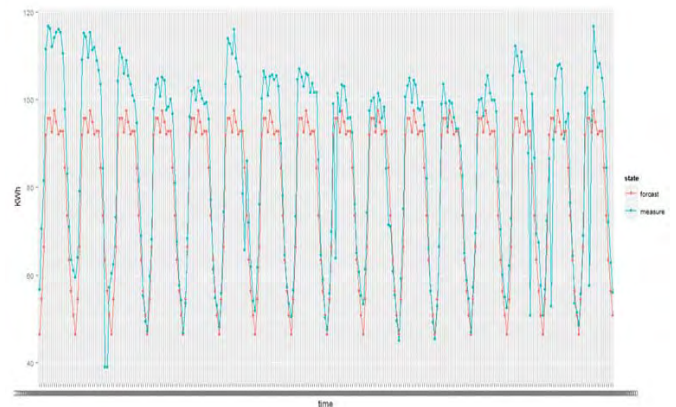
결과를 통해 1시~8시 사이(업무 외 시간)와 10시~19시 사이(업무유형1-일반 업무 시간), 마지막으로 9시와 20~24시 사이(업무유형2-업무 준비 및 야근) 세 구역으로 클러스터링 되는 것을 알 수 있다.

실측된 전력 사용량으로 시간별로 클러스터링 분석을 수행한 결과 각각의 시간적인 특성별로 구분되어 지는 것을 알 수 있으며 시간대별 전력 사용량 성향이 다르게 나타나기 때문에 보다 정확한 예측을 위해 시간별로 구분된 예측기법이 사용되어야 함을 알 수 있다.

3. 사무용 빌딩의 효율적 에너지 관리를 위한 소비 예측 모델 및 검증

클러스터링 분석 결과를 활용하여 사무용 빌딩의 효율적인 수요 관리를 위한 소비 예측 모델을 제시 하였고 실측 데이터와 예측 데이터의 오차율을 통해 타당성을 검증하였다. 2013년 일 년 간 N빌딩의 전체 전력 사용량 데이터를 가지고 시계열 분석을 통해 예측하였으며 계절적인 특성을 고려하여 정확한 예측을 위해 한 달 단위로 예측을 수행하였다.

그림3는 2013년 3월 한 달 간 시간 별 전력 사용량에 대해 N빌딩의 실측 값과 예측 값의 비교를 나타낸다. 그림4의 그래프 주기가 16개인 이유는 클러스터링 분석 결과에 의해 평일과 휴일에 대한 구분된 예측 모델을 사용하였고 본 그림은 평일에 대한 예측 결과이기 때문이다.

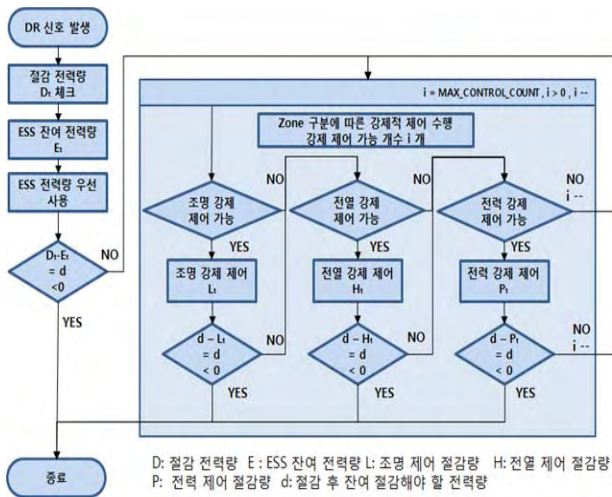


(그림 3) 2013년 3월 한달간 시간 별 전력 사용량에 대한 실측값과 예측값 비교

하늘색 선은 N빌딩의 전력 사용량 실측 값이고 빨간 선은 예측을 통해 구해진 전력 사용량 값이다. 시간(x축)에 대한 KWh(y축)값을 비교하고 있으며 KWh의 범주는 한 칸당 5KWh로 N빌딩의 시간당 전력 사용량이 100KWh 내외인 것을 감안하면 실측치와 예측치 사이의 오차는 그리 크지 않음을 알 수 있다. 정확한 검증을 위해 절대평균오차비율(MAPE)을 계산하였으며 계산된 MAPE 값은 10.09로 수용 가능한 범위의 오차율(10%)을 보였고 본 예측 모델이 타당성이 있음을 검증하였다.

4. 예측 방법론을 토대로 한 에너지 예측 사용량 기반 효율적인 수요 반응 제어 알고리즘 연구

오차율 검증을 통해 타당성을 검증한 예측 모델을 기반으로 실제 N 빌딩에서 사용되는 에너지원(조명, 전열, 전력)별 계통 구성(계통, ESS) 간 효율적인 전력 분배를 통한 수요 반응 제어 알고리즘을 제시한다.



(그림 4) 에너지 예측 사용량 기반 계통 구성 및 에너지 원별 효율적인 수요 반응 제어 알고리즘

그림4는 에너지 예측 사용량 기반 계통 구성 및 에너지 원 별 수요 반응 제어 알고리즘을 나타낸다. 수요 반응 신호가 발생하면 예측 모델을 이용하여 해당 시간대의 절감 전력량을 계산하고 ESS내의 잔여 전력량과 비교하여 전력 사용 대상을 결정한다. 예측을 통한 절감 전력량이 ESS 잔여량 보다 적다면 ESS에 저장된 전력을 우선 사용하여 수요 반응 신호의 요구량을 만족시키고 절감 전력량이 ESS 잔여량 보다 많을 경우 에너지 원 별 강제 제어(전력 차단)을 통한 전력 절감이 수행된다. 세 가지 에너

지원에 대해 지정해 놓은 우선순위에 따라 조명, 전열, 전력 순서로 구역별 에너지 강제 제어가 수행되며 수요 반응을 만족하는 에너지 절감 전력량에 도달할 때 까지 반복되어 수행된다. 이를 통해 수요 반응 신호가 발생하였을 때 사무용 빌딩에서 효율적인 에너지 사용 및 수요 반응 관리가 가능하다.

5. 결론

본 연구를 통하여 사무용 빌딩에 대한 전력 사용량 데이터를 이용한 클러스터링 분석을 수행하였다. 전력 사용량 데이터의 유사성을 통해 평일과 휴일, 업무 시간별 성향이 다르게 나타나는 것을 알 수 있었으며 이를 이용한 예측모델을 제시하였고 검증을 통해 해당 예측모델의 타당성을 보였다. 예측 방법론을 토대로 에너지 예측 사용량 기반 효율적인 수요 반응 제어를 위한 알고리즘을 제시하였고 이를 통해 사무용 빌딩에 대해 효율적인 에너지 사용 및 수요 반응 관리가 가능할 것이라 판단된다.

향후 온도, 습도 등 에너지 사용량과 밀접한 관계를 가진 환경변수들을 고려하여 추가적인 예측 알고리즘 연구를 진행할 계획이며 계통전력 및 ESS외의 추가적인 계통 구성을 사용한 수요 반응 제어 알고리즘 연구를 진행수 있을 것이다. 에너지 예측 사용량 기반 수요 반응 제어 알고리즘은 사무용 빌딩의 효율적인 에너지 운영에 큰 도움을 줄 수 있을 것으로 기대된다.

6. 기타

본 연구는 2015년도 에너지기술개발사업 (이종(異種) 분산전원 관리와 에너지 밸런싱 서비스 제공하는 에너지 효율화 네트워크 시스템 개발)의 지원을 받아 수행한 연구임.

참고 문헌

[1] N. Motegi, M.A. Piette, D.S. Watson, S. Kiliccote, and P. Xu, 2007, Introduction to Commercial Building Control Strategies and Techniques for Demand Response, LBNL Report-59975.
[2] 박창이, 김용대, 김진석, 송종우, 최호식, "R을 이용한 데이터 마이닝", 교우사, 2011