

자동 수요반응에 반응하는 지능형 냉방 관리시스템에 관한 연구

권기웅, 김상훈, 윤정미, 이상학

전자부품연구원

{kiwoong.kwon, ksh7150, yunjm, sanghaklee88}@keti.re.kr

A Study on Intelligent Cooling Management System Responding to Automated Demand Response

Kiwoong Kwon, Sanghun Kim, Jungmee Yun, and Sanghak Lee

Korea Electronics Technology Institute

요 약

본 논문은 수요반응(DR)에 반응하여 자동으로 에어컨을 제어할 수 있는 지능형 냉방 관리 시스템을 제안한다. 평가를 위하여 실험적 테스트베드를 구축하였고 전력 감축 및 사용자 만족도에 대한 실험을 실시하였다. 실험 결과, DR이 진행되는 동안 제안하는 시스템이 평소보다 16.49% 전력을 적게 사용하고 99.84%의 수용가들이 DR 참여를 끝까지 유지함을 확인하였다. 즉, 대부분의 가정이 본 시스템을 통한 전력 감축 운전에 만족한다고 판단할 수 있었다.

I. 서론

수요반응(DR: Demand Response)은 전력 공급 부족을 대비하여 전력 감축 명령을 통해 전력 공급과 수요의 균형을 맞추기 위한 활동이다. [1] DR이 실행되는 동안 DR 참여 고객이 평소보다 전력을 적게 사용하는 경우 전력 감축에 대한 보상을 지급한다. 이러한 전력 감축 노력을 통해 전력 피크를 안정화 시켜 정전에 대한 피해를 막을 수 있다.

지금까지 DR 참여 고객은 공장, 회사, 공공기관 등 주로 큰 규모의 건물이 대상이었지만 큰 규모의 건물만으로 목표 전력 감축량을 달성하기 어려울 수 있기 때문에 DR 참여 고객의 범위를 넓히기 위한 노력이 필요하다. 최근에는 IoT의 발전으로 원격 감침, 전력 기기의 세밀한 제어가 가능해짐으로써 DR 참여 고객의 범위가 큰 규모의 건물에서 작은 규모의 건물로 확대되고 있다.[2] 특히, 개개 가정의 전력 감축 잠재량은 큰 건물에 비해 많이 부족하지만 분산된 가정의 전력 감축 잠재량을 한데 모을 경우 DR 자원으로 충분히 활용될 수 있을 것이다.

본 논문에서는 자동 수요반응에 반응하는 지능형 냉방 관리시스템을 제안한다. 본 시스템은 수용가 내외부 온도 습도 데이터 학습을 통한 인공 신경망(ANN: Artificial Neural Network)을 생성하여 사용자 쾌적온도를 도출하고 해당 온도를 기반으로 DR이 실행되는 동안 에어컨을 자동제어한다. 수용가의 에어컨 온도를 일괄적으로 동일하게 높이지 않고 학습된 쾌적 온도를 기반으로 서로 다르게 제어함으로써 DR 참여로 인한 가장의 불편함을 최소화할 수 있다. 실험적 테스트베드를 구축하고 실측을 통한 성능평가를 실시하였다. 실험 결과 제안하는 시스템이 DR 실행 시 평소보다 전력 소비를 줄이고 사용자에게 높은 만족도를 제공함을 확인하였다.

II. 지능형 냉방 관리시스템 설계

그림 1은 지능형 냉방 관리시스템 개요를 나타내며 제어 인터페이스, 빅 데이터 시스템, 냉방 관리시스템으로 구성되어 있다. 제어 인터페이스는

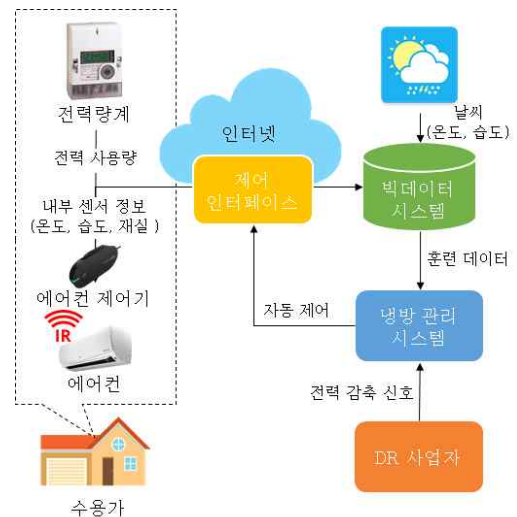


그림 1. 지능형 냉방 관리시스템 개요

에어컨 제어기를 통해 온도, 습도, 재실과 같은 내부 센서 정보를 모으고 이를 빅 데이터 시스템에 저장하는 역할을 한다. 그리고 냉방 관리시스템으로부터 제어 메시지를 전달 받아 이를 기반으로 에어컨 제어기에 신호를 보내어 에어컨 제어를 실시한다. 빅 데이터 시스템은 외부 온도, 습도와 같은 외부 날씨 및 각 수용가의 전력 사용량을 추가적으로 저장하여 냉방 관리시스템이 쾌적 온도를 도출하고 DR 실행 시 예상 전력 감축량을 산정하기 위한 데이터를 제공하는 역할을 한다.

냉방 관리시스템은 DR 사업자와 연동하여 DR이 시작되면 전력 감축 제어를 실시한다. 전력 감축 제어를 위해 학습 기반 쾌적 온도를 도출하고 최적의 에어컨 제어 메시지를 제어 인터페이스에 전달한다. 학습 기반 쾌적 온도를 이용함으로써 각 수용가의 에어컨이 일괄적으로 동일하게 운전되지 않고 각 수용가의 쾌적도에 따라서 맞춤 제어를 실시할 수 있다.

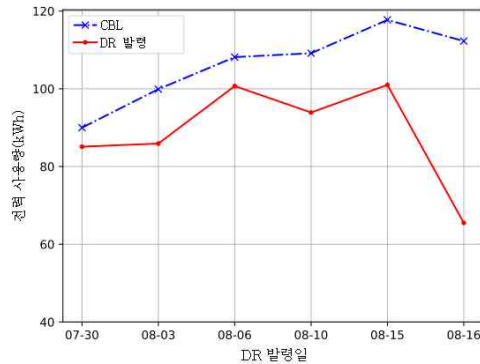


그림 2. 전력 사용량 비교

쾌적 온도 도출을 위하여 4개의 뉴런과 4개의 히든 레이어로 구성된 ANN을 구축하였으며 활성화 함수로 Exponential linear unit(ELU)를 사용하였다. 훈련데이터는 사용자 재실이 감지되었을 때 시간, 외부 온도, 그리고 내부 온습도를 이용해 계산한 예상 평균 온열감 (PMV: Predicted Mean Vote) 이 사용되었다.[3] PMV는 쾌적도를 나타내는 ISO 표준으로서 이를 계산하기 위해 온습도 이외에 대사 속도, 의류 단열도와 같은 값들이 추가로 필요하지만 해당 값들은 실측하기에 어려우므로 지역특성을 반영한 상수 값으로 대체하였다. 생성된 각 수용가의 ANN에 현재 시간, 외부 온습도를 입력으로 넣으면 해당 수용가의 쾌적 PMV 가 출력되고, 실내 습도, 쾌적 PMV를 이용해 역산하면 쾌적 온도를 도출해낼 수 있다.

DR 이 시작되면 먼저 해당 수용가의 예상 전력 감축량을 산정하고 DR 목표 전력 감축량을 만족하는지 판단한다. 목표 전력 감축량을 만족하지 못하면 에어컨 온도를 1도 높이고 그렇지 않으면 수용가의 현재 온도가 쾌적 온도와 같은지를 판단한다. 현재 온도와 쾌적 온도의 차이가 없을 시 에어컨이 이미 쾌적 온도로 운전 되고 있으므로 제어를 하지 않고 현재 온도와 쾌적 온도의 차이가 있을 시에만 현재 온도를 쾌적 온도로 설정한다. 예상 전력 감축량이 목표 전력 감축량을 만족하는 수용가를 대상으로 쾌적 온도로 에어컨을 운전함으로써 DR 참여로 인한 불편함을 최소화 하고 사용자 만족도를 높일 수 있다.

III. 성능 평가

성능 평가를 위해 수용가 104 세대를 모집하여 실험적 테스트베드를 구축하였고 전력 감축 및 사용자 만족도에 대한 실험을 실시하였다. 수용가는 서울, 대전, 시흥 내 아파트 단지에서 각각 26, 44, 34 세대를 모집하였고, 에어컨 소비가 가장 많은 2019년 7월 말부터 8월 중순 기간 동안 총 6회(07/30, 08/03, 08/05, 08/15, 08/16) 가상 DR을 발령하였다. 그리고 과거 전력 소비 빅 데이터 분석을 통해 하루 중 전력 소비가 가장 많은 시간(20시~21시)을 도출하였으며 이를 활용하여 DR 발령시간을 20시부터 21시로 결정하였다. 평소 전력 사용량 나타내는 고객 기준 부하 (CBL: Customer Baseline Load) 계산은 MAX(4/5) 따르며, 이는 DR 발령일 전 최근 5일 중 전력 소비가 가장 많은 4일의 평균 전력 사용량을 CBL 로 판단하는 방식이다.

그림 2 는 평소 전력 사용량 (CBL) 과 DR 발령 시 전력 사용량을 비교한 그래프를 보여준다. 그림에서 각 DR 발령일에 CBL 은 각각 약 90, 99.9, 108.15, 109.15, 117.725, 112.275 kWh 이며 DR 발령 시 전력 사용량은 각각 약 85.1, 85.9, 100.7, 93.9, 101, 65.5 kWh 로 나타났다. 이는 DR 발령 시 총 105.1 kWh 의 전력, 즉 16.49% 의 전력을 절감하였음을 의미한다.

표 1 은 DR 참여율을 정리하였다. 여기서 지원 수용가는 DR 에 참여 가능한 수용가로서 예상 최대 전력 감축량이 100 Wh 미만인 수용가를 제외

표 1. DR 참여율 정리

DR 발령일	지원 수용가	참여 수용가	참여율(%)
07/30	104	104	100
08/03	104	104	100
08/06	104	103	99.04
08/10	103	103	100
08/14	103	103	100
08/16	103	103	100
합계	621	620	99.84

한 모든 수용가를 나타낸다. 참여 수용가는 지원 수용가 중에서 DR 이 완료될 때까지 DR 참여를 유지한 수용가를 나타내며 DR 참여 인정 여부는 에어컨 수동 조작 여부로 판단한다. 즉, 에어컨 수동 조작을 하지 않은 수용가만 DR 참여를 인정한다. 표에서 각 DR 발령일에 지원 수용가는 각각 104, 104, 104, 103, 103, 103 이고, 참여 수용가는 각각 104, 104, 103, 103, 103, 103 으로 나타났다. 이는 DR 발령 6회 동안 총 621 지원 수용가 중 620 수용가가 DR 참여를 유지하여 DR 참여율이 약 99.84% 임을 의미한다. DR 시작 전에 에어컨 자동제어를 만족하지 않을 경우 에어컨을 수동으로 제어하여 DR 참여에서 이탈할 수 있음을 수용가에 미리 공지 하였으므로 DR 참여율을 사용자 만족도로 판단할 수 있으며, 제안하는 시스템에 대한 사용자 만족도를 약 99.84% 라고 예상할 수 있다.

IV. 결론

본 논문에서는 자동 수요반응에 따라 운전하는 지능형 냉방 관리시스템을 제안하였다. 제안하는 시스템은 시간, 재실, 내외부 온습도로 구성된 훈련 데이터 세트를 학습하여 쾌적 온도를 도출하고, DR 이 실행될 때 학습된 쾌적 온도를 이용하여 수용가의 에어컨을 쾌적도에 따라 서로 다르게 제어한다. 이를 통해 수용가의 전력을 감축함과 동시에 사용자 만족도를 유지시킬 수 있었다. 수용가 104세대를 모집하여 실험적 테스트베드를 구축하였으며 전력 감축과 사용자 만족도에 대해 실험을 실시하였다. 실험 결과 제안하는 시스템이 DR 발령 시 평소보다 약 16.49% 전력을 감축함에도 사용자 만족도를 약 99.84%로 유지함을 확인할 수 있었다. 향후에는 여름전체 기간 동안 에어컨 상시제어를 실시하여 상시제어에 대한 지능형 냉방 관리시스템의 전력 감축량과 사용자 만족도를 평가해볼 예정이다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 2019271010015E)

참 고 문 헌

- [1] P. Siano, "Demand response and smart grids-A survey," Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 30, pp. 461-478, Feb. 2014.
- [2] H. Mortaji, S. H. Ow, M. Moghavvemi, and H. A. F. Almurib, "LoadShedding and Smart-Direct Load Control Using Internet of Things in Smart Grid Demand Response Management," IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 53, no. 6, pp. 5155 - 5163, Aug. 2017.
- [3] R. Yao, B. Li, and J. Liu, "A theoretical adaptive model of thermal comfort - Adaptive Predicted Mean Vote (aPMV)," Building and Environment, vol. 44, no. 10, pp. 2089 - 2096, Oct. 2009.