

딥러닝을 활용한 주거용 스마트 전력 시스템 운영 방법 연구

김동욱*¹, 안성우*², 김종원*³, 이희진**

A Study on the Operation Method of Residential Smart Power System using Deep Learning

Dong-Wook Kim*¹, Seong-Woo An*², Jong-Won Kim*³, and Hee-Jin Lee**

이 연구는 금오공과대학교 대학 학술연구비로 지원되었음(2021)

요 약

최근 1인 가구의 증가로 인하여 출근 시, 집에 사람이 없는 가구의 비율이 높아지는 추세이다. 기존의 스마트 홈 케어 시스템은 사용자에게 의한 예약 및 직접 제어로 인해 수동적이고 비효율적으로 에너지를 사용한다는 단점을 가지고 있다. 본 연구에서는 이러한 단점을 보완하여 딥러닝 기술을 활용한 스마트 전력 시스템을 고안하였다. 사용자의 퇴근 시각에 맞추어 에너지 절약을 고려해 자동으로 최적의 상태가 조성될 수 있도록 온도, 습도, 실내공기 질을 조절하는 방법을 제안한다. 어플리케이션으로 기본 설정을 진행 후, Raspberry Pi에서 기존 퇴근 시각 데이터와 공공데이터 오픈 API를 이용해 사용자의 퇴근 시간을 딥러닝을 통해 예측한다. 해당 데이터를 Arduino로 받은 후 목표 환경에 도달하기 위해 시스템을 적용한다. 이로써 상시 가동 대비 40%의 에너지를 절약하는 최적의 시스템을 구현하는 방안을 제시하였다.

Abstract

Due to the recent increase in single-person households, the number of empty houses during the day is increasing. Existing smart home care systems have the disadvantage of passive and inefficient use of energy due to reservation and direct control by users. In this study, a smart power system using deep learning technology is proposed to save energy. Adjust the temperature, humidity and indoor air quality so that the environment can be an optimal condition according to the user's time off work. After performing the basic setting with the application, Raspberry Pi predicts the user's work time through deep learning using existing work time data and public data open APIs. After receiving the data in Arduino, the system is applied to reach the target environment. Accordingly, a plan to implement an optimal system that saves 40% of energy compared to constant operation was proposed.

Keywords

deep learning, energy saving, IoT, power system, raspberry pi, smart home care

* 금오공과대학교 전자공학부 학사과정
- ORCID¹: <https://orcid.org/0000-0003-0734-3033>
- ORCID²: <https://orcid.org/0000-0002-6043-4922>
- ORCID³: <https://orcid.org/0000-0001-8228-186X>
** 금오공과대학교 전자공학부(교신저자)
- ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1306-8771>

• Received: Nov. 16, 2022, Revised: Dec. 14, 2022, Accepted: Dec. 17, 2022
• Corresponding Author: Hee-Jin Lee
Dept. of Electronic and Electrical Engineering of Kumoh National
Institute of Technology, 61 Daehak-ro, Gumi-si, Gyeongbuk, Korea
Tel.: +82-54-478-7437, Email: jinlee@kumoh.ac.kr

1. 서 론

통계청 자료에 의하면, 1인 가구의 급격한 증가로 인하여 전체 가구 대비 1인 가구의 비율은 40%까지 도달하며 꾸준히 증가하는 추세이다. 이에 따라 과거와 다르게 1인 가구의 경우, 회사 출근으로 인해서 평일 시간대에 집에 사람이 비어있는 경우가 많다는 특징을 가진다. 하지만, 기존 스마트 홈케어 시스템은 1인 가구에 적용하기에 여러 불편함과 문제점을 가지고 있다[1]. 예를 들어, 사용자가 어플리케이션을 통해 직접 IoT의 전원 및 동작 시각을 설정 및 제어하지 않을 경우, 사용자가 원하는 환경을 조성하기 어렵다. 또한, 예약 설정된 시간에만 작동되는 경우 역시 날씨 및 계절을 반영하는 것이 아닌 기존 설정된 방법으로만 작동되는 한계를 가진다. 이러한 점에서 기존 시스템은 수동적이며 비효율적인 에너지 소모를 가지며, 이는 결국 사용자에게 열적 쾌적감을 느끼도록 유지하기 어렵다. 새롭게 제안하는 ‘딥러닝을 활용한 에너지 절약형 스마트 홈 케어 시스템’의 경우 앞서 기술된 문제점들을 별도의 큰 비용 없이 간단하게 연동함으로써 해결할 수 있다. 이를 통해 집 내부의 쾌적한 환경이 자동으로 조성될 수 있는 맞춤형된 서비스가 가능하다[2]. 또한, 사용자의 도착 시각에 맞춰 최적 시간에 동작하여 에너지 절약이 가능하다.

기존 연구에서는 다양한 형태의 스마트 홈케어 시스템이 소개되었으며, 현재에도 연구가 활발히 진행되고 있다[3],[4]. 하지만, 대다수의 연구에서는 급격한 노인 인구 증가 문제를 고려한 헬스케어 중점적으로 다루고 있다[5]. 이러한 점에서 2050 탄소 중립을 목표로 에너지 효율성을 높이려는 노력의 일환으로 정보기술을 활용한 에너지 절약 기능을 중점으로 본 시스템을 제안하였으며, 이는 그림 1에 제시되어 있다[6].

새롭게 제안하는 스마트 홈 케어 시스템의 특징을 간략하게 요약하면 다음과 같다.

1. 사용자별 퇴근 시각 예측 정보를 기존 기기들과 연동함으로써 추가적인 설비 비용 없이 에너지 효율성을 증대하고 에너지 비용을 감소
2. 기상 정보를 반영한 환기시스템 작동 시간 조정 및 계절별 적정 온/습도에 따른 집 내부 온/습도 제어로 인해서 최적의 쾌적한 실내 환경 조성

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장은 시스템 구성에 대한 설명으로 사용자의 퇴근 시각 예측을 위한 데이터 활용 방법과 미세먼지와 온도, 습도에 따른 시스템 동작 및 방법을 논한다. 3장에서는 이를 통해 기존 대비 얼마나 높은 에너지 효율을 도출 가능한지 가상의 모델을 통해 비교하였으며, 마지막 4장에서 결론 및 향후 과제 사항을 정리하였다.

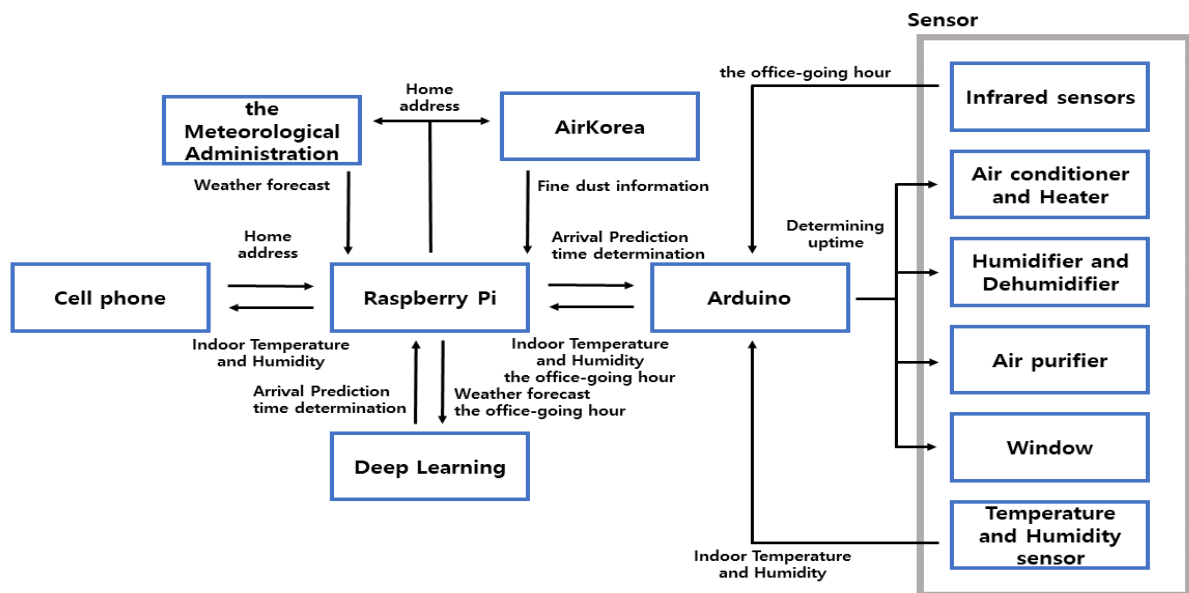


그림 1. 에너지 절약형 IoT 스마트 홈 케어 시스템 구성도
 Fig. 1. Energy-saving IoT smart home care system configuration chart

II. 시스템 구성

시스템의 전체적인 구성은 먼저 위 그림 1에서와 같이 Raspberry Pi와 Arduino를 중심으로 구성됨을 확인할 수 있다. 먼저 스마트폰의 어플리케이션을 통하여 Raspberry Pi로 사용자의 데이터를 받아 사용자별로 기본 설정 및 시스템을 제어한다. 다음으로, 계절별 외기 온습도 및 미세먼지 정보를 수집하기 위해 기상청과 AirKorea를 통해 오픈 API 자료를 Raspberry Pi로 받는다. 또한, Arduino는 적외선 센서와 온습도 센서로부터 집안 내부 정보를 수집한다. 이러한 데이터를 통해 딥러닝 학습 결과로 사용자의 도착 예정 시각을 결정하며, Raspberry Pi는 결정된 시각을 Arduino로 전달한다.

다음으로 Arduino는 Raspberry Pi로부터 전달받은 도착 예정 시각 데이터를 바탕으로 냉/난방기와 가/제습기, 공기청정기를 비롯한 기기들에 대한 동작을 제어하도록 한다.

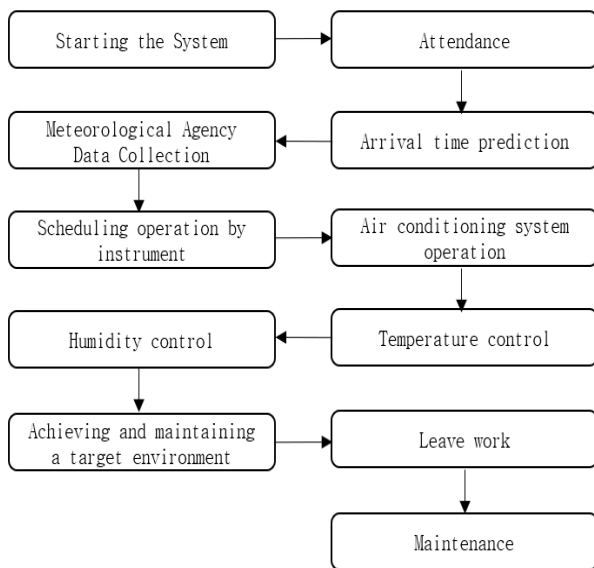


그림 2. 시스템 알고리즘
Fig. 2. System algorithms

특히 Raspberry Pi는 위 그림 2와 같은 알고리즘을 통해 시스템을 구동한다. 시스템 알고리즘 중 도착 시각 예측과 공조 시스템 가동, 냉/난방 시스템, 가/제습 시스템 가동에 대한 상세 내용은 다음과 같다.

2.1 도착 시각 예측

출입문에 자석 감지 센서와 집 내부에 적외선 감지 센서를 활용해 집 내부의 사람 유무를 판단하도록 한다. 단순히 자석 감지 센서만으로는 올바르게 출퇴근 여부를 확인하기 어렵기 때문이다. 다음으로 본 논문에서는 사람이 집에 거주하는 주말 및 휴일을 제외하여, 도착 시각을 분석하도록 가정하였다.

사용자의 출입문 개방 여부와 적외선 감지 센서를 함께 활용함으로써 집안 내부에 사람 존재 여부를 확인하여 단순 외출 정보를 필터링한다. 이러한 출퇴근 데이터를 통해 사용자의 도착 시각을 예측한다. 도착 시각 예측 방법으로는 도착 시각 데이터를 딥러닝 활용 모델 중 선형회귀 모델을 활용해 기계학습 하도록 한다[7]-[9].

다음 그림 3은 출입문 개방에 따른 주말 및 휴일을 제외한 도착 시각 예측을 나타내기 위한 어떤 1인 가구의 선형회귀 모델을 사용한 예측 데이터와 실제 퇴근 시각 데이터이다.

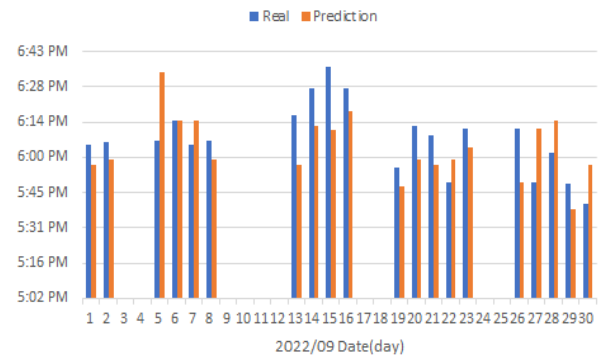


그림 3. 실제 도착 시각과 예측 간 데이터 비교
Fig. 3. Data comparison between actual arrival time and forecast

최근 한 달간 퇴근시간과 전년도 해당일이 포함된 월의 퇴근시간을 학습하여 도착 예정 시각의 평균 제곱근 편차(RMSE, Root Mean Squared Error)오차가 최소가 되도록 예측한다.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Predicted - Actual)^2} \quad (1)$$

이처럼 종속변수를 독립변수와 오차항의 선형결합으로 나타낼 수 있는 선형회귀 모델을 이용함으로써 오차를 고려한 사용자의 도착 예정 시각을 판단할 수 있다.

2.2 공조 시스템 가동

미세먼지가 나쁜 날에도 환기해야 하는 이유로는 다음과 같다. 가정은 외부에서 들어온 오염물질과 가정 내에서 발생하는 오염물질이 합쳐지는 공간이기 때문에 실외 공기보다 오염도가 높다. 일반 가정집의 평소 미세먼지 농도는 $40\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하지만, 고기·생선을 굽거나($1580\sim 2530\mu\text{g}/\text{m}^3$) 청소기 청소하거나($200\mu\text{g}/\text{m}^3$) 이불을 털면($250\mu\text{g}/\text{m}^3$) 더 올라간다. 또한, 공간이 협소하므로 오염 물질의 밀도가 높고 사람이 이를 흡입할 확률도 자연히 더 높다. 또한, 실내 건축물에서는 벤조피렌·폼알데하이드·이산화질소 등의 유해 물질이 발생하기도 하기에, 환기는 필수적으로 행해져야 한다[10].

물론 공기청정기도 미세먼지 제거에 도움이 되지만, 공기청정기에 표시되는 수치만을 과신해서는 안 된다. 환경부에서 주요 공기청정기를 조사한 결과, 공기청정기에 표시되는 실내공기 질 측정값의 오차율의 수치가 51~90%의 굉장히 높은 수치로 나타났다. 또한, 실내 미세먼지 감소를 위해서는 공기청정기만을 사용하는 것이 효과적이지만, 자연 환기는 오염물질을 집 밖으로 배출시키면서 실내 오염물질의 증가를 막거나 감소시킨다[11]. 공기청정기를 사용해도 주기적으로 환기해야 하는 이유이다.

해당 사항을 반영하여 시스템을 구성한다. 공조 시스템의 알고리즘은 다음 그림 4에 나타나 있다.

먼저 스마트폰의 어플리케이션을 통해 현재 사용자의 주거 지역을 설정한다. 다음으로 AirKorea API를 통해 해당 지역의 미세먼지 데이터를 Raspberry Pi를 활용하여 받도록 한다. 환기 시간은 저녁 늦게나 새벽 시간에는 대기가 침체하여 오염물질이 정체되어 있으니, 오전 10시부터 오후 9시 이전에 한다[12].

계절별 환기시스템 동작 시각을 다르게 가정한다. 봄/가을철과 여름철의 경우 외기온도가 가장 높아 외기와 실내의 온도 차가 큰 오후 2~3시경 시간

대를 피하여 시스템이 동작하며, 겨울철의 경우 외기와 실내의 온도 차가 최소인 오후 2~3시경 시간대로 가정한다.

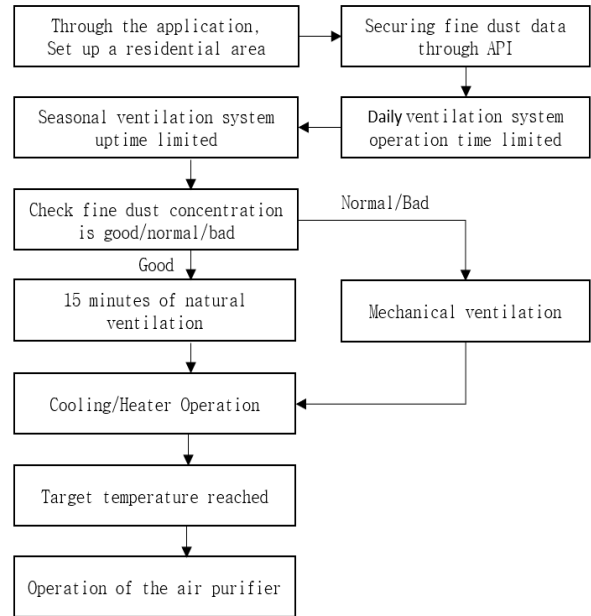


그림 4. 공조 시스템 가동 알고리즘
Fig. 4. Air conditioning system operation algorithm

해당 지역의 미세먼지 데이터에 따라 미세먼지 농도가 좋음/보통($80\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하)일 경우 15분의 환기가 이루어지도록 자연 환기시스템(창문 개폐)의 작동 신호를 Arduino로 전달한다. 하지만, 미세먼지의 농도가 나쁨($81\sim 150\mu\text{g}/\text{m}^3$) 혹은 매우 나쁨($151\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상)인 날은 창문 개폐를 통한 환기보다는 주방 후드 및 기계 환기시스템을 통해 환기가 이루어지도록 작동 신호를 Arduino로 전달한다[13][14].

단, 가습기와 공기청정기를 동시에 동작시킬 경우 가습기의 증기를 미세먼지로 인식하여 공기청정기가 오작동 될 수 있으므로 두 제품을 동시에 동작시키지 않는다.

환기시스템이 작동된 이후, 냉/난방기 작동을 통해 목표 온도에 도달하는 상황에서 공기청정기가 함께 가동된다. 공기청정기는 한국소비자원의 권유에 따라 1인 평균 거주 공간인 14평형의 130%의 사용 면적을 가진 모델을 선정한다. A 모델을 사용하며, 공기청정기의 사용 면적은 60m^2 , 소비전력 60W를 가진다.

1997년에 발표된 논문 ‘공기 청정 장치의 제거 성능에 관한 조사연구’에서 일반 가정집에서 1시간 공기청정기 가동 시 약 90% 이상의 분진이 제거되었고, 미세먼지는 입자가 작아 더 빨리 많은 양이 제거된다는 점을 고려하여 공기청정기는 1시간 운용하도록 가정한다[15].

2.3 냉난방 시스템 가동

사용자별 쾌적함을 느끼는 실내 온도는 다를 수 있지만, 시스템의 실내 목표 온도를 공공기관에서 권장하는 계절별 실내 온도를 목표로 지정한다. 공공기관에서 권장하는 계절별 실내 온도는 다음과 같다. 봄/가을철의 경우 19~23℃, 여름은 24~27℃이며, 겨울은 18~21℃이다. 본 연구에서는 계절별 적정 온도를 평균치의 값을 활용하여 각각 봄/가을철 21℃, 여름 25℃, 겨울 19℃로 가정한다.

1인 가구 평균 거주 공간인 14평에 적합한 냉방기 기준으로 16평형 벽걸이형 인버터 에어컨 B 모델을 선정한다. 해당 모델의 최소 냉방 능력 2.3kW, 정격 냉방 능력 6.5kW, 최대 냉방 능력 8.3kW이다. 또한, 최소 냉방 소비전력 0.45kW, 정격 냉방 소비전력 2.2kW의 소비전력을 가진다.

또한, 난방기는 전기보일러가 아닌 대중적으로 보급된 가스보일러를 활용한다. 1인 가구 평균 거주 공간인 14평에 적합한 가스보일러 기준으로 C 모델을 선정한다. 난방 면적은 14평, 난방 출력의 경우 7,000 kcal/h(29.31MJ/h)이다. 또한, 목표 온도 도달 시, 현재 온도 유지를 위한 최소 운용으로 봄/가을의 경우 3시간에 한 번 가동하는 것으로 가정한다. 여름철의 경우는 난방기를 가동하지 않는다. 하지만 겨울철의 경우 외기온도 영향이 다른 계절보다 크기 때문에 1시간 반에 한 번 가동하는 것으로 가정하여 계절에 따른 난방기 운영에 차이를 둔다.

위 모델로 설정 후, 냉방기와 난방기 가동에 따른 온습도 변화 조건은 다음과 같이 가정한다. 먼저 공조 시스템이 종료된 상황이며, 외기온도 및 콘크리트 단열 등의 외부 조건 역시 고려한다. 냉난방기 10분 가동 시 실내 온도 변화는 각각 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 이며, 냉난방기 10분 가동 시 실내 습도 변화는 $\pm 2\%$ 로 가

정한다. 냉방기는 실내 공기를 흡수하여 건조한 공기를 배출하고, 난방기는 온도를 올려 포화 수증기량을 올리므로 밀폐된 공간의 상대 습도를 낮춘다.

2.4 가/제습 시스템

냉/난방기 가동 후 가/제습기를 통해 목표 습도에 도달하도록 기기를 운용한다. 사용자별 쾌적함을 느끼는 실내 습도는 다를 수 있지만, 시스템의 실내 목표 습도를 공공기관에서 권장하는 계절별 실내 습도를 목표로 한다. 계절별 권장 실내 습도는 봄/가을철의 경우 50%, 여름은 40%이며, 겨울은 60%이다.

1인 가구 평균 거주 공간인 14평에 알맞은 제습기 D 모델을 선정한다. 해당 모델의 제습 능력은 10L이며, 소비전력 260W, 제습 효율 1.67을 가진다. 평 기준 적정 제습량 계산 방법과 제습기 가동에 따른 실내 온/습도 변화 공식을 활용하면 14평의 경우 대략 10L의 제습 능력이 요구된다[16].

또한, 1인 가구 평균 거주 공간인 14평에 알맞은 가습기 기준으로 E 모델을 선정한다. 해당 모델의 용량은 721cc이며, 복합식이다. 물탱크의 용량은 4L이며, 최대 분무량 400cc, 소비전력은 85W를 가진다. 한국공기청정협회의 적용 바닥면적 대비 지역별 필요 가습 능력에 따라 1평당 필요한 가습량은 약 51.5cc이다. 복합식으로 선택한 이유는 초음파식과 가열식을 복합적으로 적용하여 두 방식의 장점을 모두 살린 방식이기 때문이다. 이를 통해 전기요금을 줄이며 더 많은 분무량을 낼 수 있다.

가습기와 제습기 가동에 따른 습도 변화 조건은 다음과 같이 가정한다. 먼저 공조 시스템 및 냉난방 시스템 가동이 종료된 상황이다. 가/제습기 10분 가동 시 실내 습도 변화는 각각 $\pm 6\%$ 이며, 온도에는 영향을 주지 않는다고 가정한다.

기기 운용에 따른 온습도 변화는 아래의 표 1과 같다. 하지만, 가정마다 내/외부 환경이 다르므로 딥러닝 알고리즘을 활용하여 실제 운용 학습을 통해 온습도 변화를 파악한 뒤 시스템에 적용한다.

위의 단계를 통해 목표한 최적의 실내 조건을 달성한 뒤, 현재 환경이 유지되도록 냉방기는 최소전력으로, 난방기는 봄/가을철 3시간에 한 번, 겨울철 1시간 반에 한 번 가동되도록 한다.

표 1. 10분 가동 시 온습도 변화

Table 1. Temperature and humidity changes during 10-minute operation

| Devices | Temperature | Humidity |
|-------------------------|-------------|----------|
| Air conditioner/Heater | ±2℃ | ±2% |
| Humidifier/Dehumidifier | - | ±6% |

III. 에너지 절감 효과 분석

3.1 비교 및 분석 방법

앞의 2장의 내용과 그림 1의 시스템의 구성도를 참고하여 가상의 모델을 통해 최적의 에너지 효율 시스템을 분석해보았다. 분석 방법은 먼저 Case 별 소비전력과 난방열량의 값을 추산하여 비교하고, 그에 따른 전기요금과 가스요금을 추산하였다. 모의실험에 활용되는 기기들의 소비전력과 난방열량은 앞서 언급한 모델들의 사양들을 활용하였다. 이는 다음에 나오는 표 2와 같다.

표 2. 기기별 소비전력 및 난방 출력

Table 2. Power consumption and heating output by device

| Devices | Power consumption and Heating output |
|-----------------|--------------------------------------|
| Air purifier | 60W |
| Air conditioner | 450W(min) 2,200W(regular) |
| Heater | 29.31MJ/h |
| Dehumidifier | 260W |
| Humidifier | 85W |

다음으로 그림 5와 그림 6은 기상청 데이터를 활용하여 분석한 서울시의 2019년부터 2021년의 월평균 외기 온습도 데이터이다.

위와 같은 기상청 데이터를 활용하여 계절별 외기 온습도 대푯값을 다음과 같이 선정한다. 사용한 원자료는 2019년 1월 1일 01시부터 2021년 12월 31일 24시까지 기상청에 수집된 시간 단위 온/습도 자료이다.

앞의 2.2절에서 공조 시스템 가동 시간은 외기 온도와 실내 온도의 차이가 가장 적은 시간대에 이루어지도록 가정한다고 언급하였다.

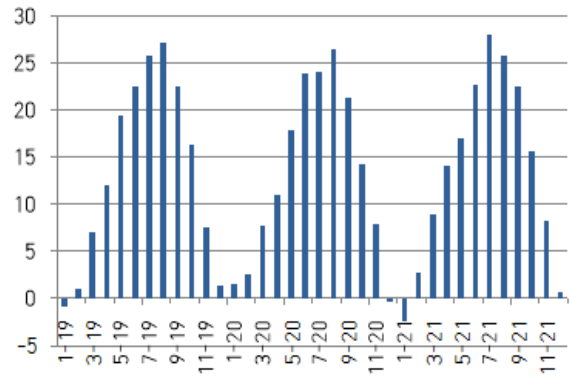


그림 5. 월평균 기온(°C)(2019년-2021년)

Fig. 5. Monthly average temperature(°C)(2019-2021)

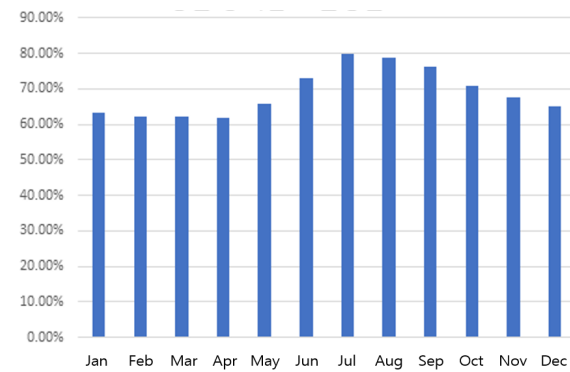


그림 6. 월평균 상대습도(2019년-2021년)

Fig. 6. Monthly average relative humidity(2019-2021)

해당 내용을 반영하여 외부요인의 영향을 가장 적게 받는 특정 시간대를 SSE(Sum of Squared Error) 값의 비교를 통해 선택하였으며 SSE의 식은 아래와 같다.

$$SSE = \sum_{a=1}^{a+1} (y_a - \hat{y}_a)^2 \tag{2}$$

여기서 각 변수는 아래와 같다.

a = 01시부터 24시까지의 시간

y_a = 해당 계절의 권장 온습도

\hat{y}_a = 에어코리아/기상청에서 예측한 시간대의 값

봄/가을의 경우 시간대별 SSE를 계산하여 비교한 결과 오후 2시에서 오후 3시 시간대의 SSE가 가장 낮다. 계절별 해당 시간대의 온습도를 아래의

공식에 적용하여 평균 외기 온/습도의 대푯값을 산출한다.

$$T = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N t \quad (3)$$

$$S = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N s \quad (4)$$

여기서 각 변수는 아래와 같다.

- N = 계절별 일수
- T = 서울의 계절별 평균 외기 온도
- S = 서울의 계절별 평균 외기 습도
- t = 계절별 SSE가 가장 낮은 외기 시간대 온도
- s = 계절별 SSE가 가장 낮은 외기 시간대 습도

위의 수식을 통해 선정된 대푯값을 Case Study의 외기 온/습도로 지정한다. 실내 온/습도의 경우 외기 온/습도를 반영하여 임의의 값을 선정하였으며, 이를 통해 시스템을 가동함으로써 권장 온/습도를 목표로 내부 환경을 변화한다 가정한다.

표 3. 계절별 외기/권장/실내 온습도의 대푯값
Table 3. Representative values of outdoor/recommended/indoor air temperature and humidity by season

| Season | Outdoor temperature and humidity | Recommended temperature and humidity | Indoor temperature and humidity |
|--------------|----------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|
| Spring /Fall | 15.6°C / 56.0% | 21.0°C / 50.0% | 17.4°C / 54.0% |
| Summer | 28.1°C / 76.2% | 25.0°C / 40.0% | 27.0°C / 64.0% |
| Winter | -2.2°C / 54.6% | 19.0°C / 60.0% | 4.8°C / 56.4% |

위의 표 3을 통해 계절별 기기 운용 계획을 표 4와 같이 가정하였다.

표 4. 계절별 기기 운용 계획
Table 4. Seasonal device operation plan

| Season | Device operations |
|-------------|---|
| Spring/Fall | Air purifier + Heater + Dehumidifier |
| Summer | Air purifier + Air conditioner + Dehumidifier |
| Winter | Air purifier + Heater + Humidifier |

다음으로 에너지 사용량을 요금으로 계산하였다. 월 전기요금 계산 식은 다음과 같다.

$$M = D + K \sum_{n=1}^m (U + W \pm S) \quad (5)$$

여기서 각 변수는 아래와 같다.

- M = 한 달 전기요금(원)
- D = 기본요금(원)
- K = 전력량(kWh)
- U = 전력량 요금(원/kWh)
- W = 기후환경 요금(원/kWh)
- S = 연료비조정요금(원/kWh)
- m = 월별 일수

2022년 4월 1일 기준 한국전력공사에서 책정한 기후환경요금은 7.3원/kWh며, 연료비조정요금은 3분기 기준 상하한 ±5원/kWh를 적용하여 계산한다.

또한, 월 가스요금 계산 식은 다음과 같다.

$$M = (U \times R \times S \times P) + D + T \quad (6)$$

$$U = \frac{h \times Q}{q} \quad (7)$$

여기서 각 변수는 아래와 같다.

- M = 도시가스 요금(원)
- U = 이번 달 사용량(Nm^3)
- R = 보정계수
- S = 가중평균 열량(MJ/Nm^3)
- P = 요금 단가(원/ MJ/Nm^3)
- D = 기본요금(원)
- T = 부가세(원)
- h = 난방 시간(h)
- Q = 난방 열량(MJ/h)
- q = 단위 열량(MJ/Nm^3)

서울도시가스 기준 도시가스의 기본요금은 월 천원이며, 2022년 9월 1일 기준 보정계수는 0.9993, 가중평균 열량은 $42.748 MJ/Nm^3$, 단위 열량은 43.54

MJ/Nm^3 , 주택용 취사 및 난방 용도의 요금 단가는 월 16.99원/ MJ/Nm^3 , 부가세는 10%이다.

해당 전기요금과 도시가스 요금을 반영하여 모델별 에너지 소모량과 요금을 비교 및 분석한다.

3.2 Case 1

Case 1은 그림 2의 순서도에서 시스템을 24시간 유지 구동함을 가정한다. 목표 온습도를 이룬 상태에서 최소 운전을 가정하여 시스템을 진행한 모델의 소비전력과 난방열량, 그리고 전기요금과 가스요금이다. 기존 기기별 소비전력 24시간 구동하여 계절별 구분한다.

단, 요금 계산 시 계절 및 월별 책정되는 요금이 다른 경우 평균을 통해 값을 추산한다.

표 5. Case 1의 계절별 소비전력량과 난방열량
Table 5. Seasonal power consumption and heating heat consumption in case 1

| Season | Monthly power consumption(kWh) | Monthly heating energy(MJ) |
|-------------|--------------------------------|----------------------------|
| Spring/Fall | 188.3 | 7034.4 |
| Summer | 512.3 | - |
| Winter | 62.3 | 14068.8 |

표 6. Case 1의 계절별 전기요금과 가스요금과 총계
Table 6. Seasonal electricity and Gas charges and total in case 1

| Season | Monthly electricity bill(won) | Monthly gas bill(won) | The total (won) |
|-------------|-------------------------------|-----------------------|-----------------|
| Spring/Fall | 22,690 | 132,474 | 155,164 |
| Summer | 99,050 | - | 99,050 |
| Winter | 7,657 | 263,848 | 271,505 |

3.3 Case 2

Case 2는 도착 시각 예측 시스템을 활용하였다. 앞의 표 3에 정리한 실내 온습도 대푯값을 기준으로 시스템을 모델링한다. 공기청정기는 습도 조절 전 온도 조절과 동시에 1시간 가동으로 가정한다. 공기청정기의 가동이 끝난 후 냉난방 시스템이 쾌적한 환경을 유지하기 위해 다음날 출근 전까지 가

동이 된다. 스마트 홈 케어 시스템 동작 종료 시각이 사용자의 도착 예정 시각 15분 전이 되도록 모의하였다.

어떤 1인 가구의 실제 퇴근 시각 데이터를 통해 추산한 사용자의 평균 예상 공실 시간은 10.31 h이다. 해당 데이터를 근거로 Case 2의 모델을 적용하였다. 다음의 표 7과 8은 모델의 소비전력과 연료 소비량, 그리고 전기요금과 가스요금을 보여주고 있다. 단, 요금 계산 시 계절 및 월별 책정되는 요금이 다른 경우 평균을 통해 값을 추산한다.

표 7. Case 2의 계절별 소비전력량과 난방열량
Table 7. Seasonal power consumption and heating heat consumption in case 2

| Season | Monthly power consumption(kWh) | Monthly heating energy(MJ) |
|-------------|--------------------------------|----------------------------|
| Spring/Fall | 109.1 | 4034.7 |
| Summer | 308.8 | - |
| Winter | 36.4 | 9049.1 |

표 8. Case 2의 계절별 전기요금과 가스요금과 총계
Table 8. Seasonal electricity and Gas charges and total in case 2

| Season | Monthly electricity bill(won) | Monthly gas bill(won) | The total (won) |
|-------------|-------------------------------|-----------------------|-----------------|
| Spring/Fall | 13,105 | 81,494 | 94,599 |
| Summer | 39,840 | - | 39,840 |
| Winter | 4,557 | 170,100 | 174,657 |

3.4 Case 3

Case 3은 사용자가 퇴근해서 집에 도착하여 수동 조작하는 경우를 모델링 하여 새롭게 제안하는 스마트 홈 케어 시스템과의 차이를 비교하였다. 사용자 출근 이후, 외기온도의 영향과 실내 공조 시스템 미가동으로 인해 최적의 실내 환경이 조성되지 않는 상태이다.

Case 2에서 언급한 바와 같이 어떤 1인 가구의 실제 퇴근 시각 데이터를 통해 추산한 사용자의 평균 예상 공실 시간은 10.31 h이므로, 집에 거주하는 시간은 13.94 h이다. 해당 데이터를 근거로 Case 3의 모델을 적용하였다.

다음의 표 9와 표 10은 도착 예정 시각에 따라 구동하는 경우의 모델의 소비전력과 난방열량, 그리고 전기요금과 가스요금이다. 단, 요금 계산 시 계절 및 월별 책정되는 요금이 다른 경우 평균을 통해 값을 반영했다.

표 9. Case 3의 계절별 소비전력량과 난방열량
Table 9. Seasonal power consumption and heating heat consumption in case 3

| Season | Monthly power consumption(kWh) | Monthly heating energy(MJ) |
|-------------|--------------------------------|----------------------------|
| Spring/Fall | 109.8 | 4280.4 |
| Summer | 306.6 | - |
| Winter | 36.6 | 8512.2 |

표 10. Case 3의 계절별 전기요금과 가스요금과 총계
Table 10. Seasonal electricity and Gas charges and total in case 3

| Season | Monthly electricity bill(won) | Monthly gas bill(won) | The total(won) |
|-------------|-------------------------------|-----------------------|----------------|
| Spring/Fall | 13,235 | 81,040 | 94,275 |
| Summer | 39,390 | - | 39,390 |
| Winter | 4,667 | 160,073 | 164,740 |

3.5 비교 분석

Case 1, Case 2, Case 3의 에너지 소모량 및 에너지 요금을 막대그래프로 나타내 값을 비교하면 다음 그림 7, 그림 8, 그림 9와 같다.

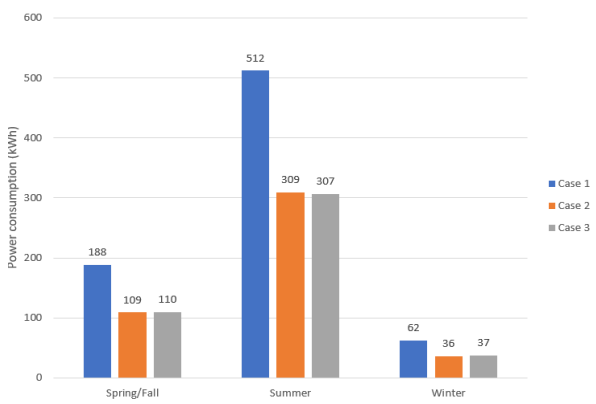


그림 7. 계절별 전력 소비량
Fig. 7. Power consumption amount of power consumption

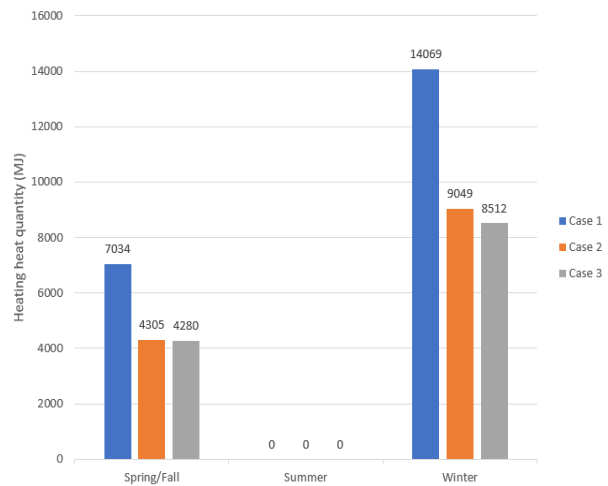


그림 8. 계절별 난방열량
Fig. 8. Seasonal heating heat flux

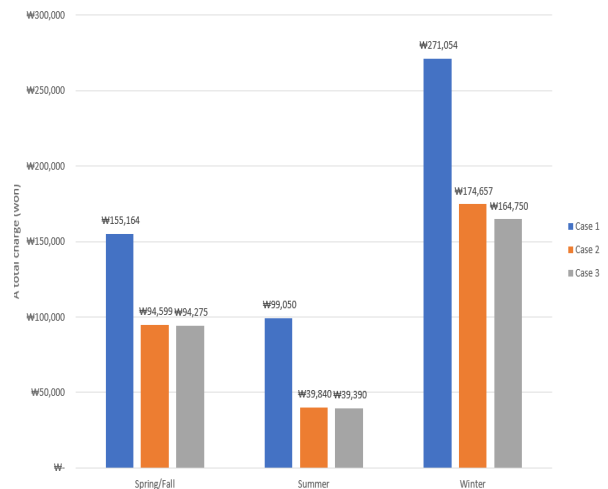


그림 9. 계절별 총 요금
Fig. 9. Total seasonal charges

기기들의 동작을 단순히 24시간 가동하는 것이 별도의 제약 조건 없이 사용자에게 편리하다. 하지만, 그림 7과 그림 8에서 보이는 바와 같이 24시간 구동 시 딥러닝에 의해 퇴근 시간을 예측하고 시스템이 자동으로 제어하는 Case 2보다 전력 소비량과 난방 열량 모두 큰 차이가 발생함을 확인할 수 있다. 이는 결국 Case 1의 방법으로 시스템 운영 시, 사용자가 쾌적함을 느끼기 위해 더 큰 비용이 소요됨을 알 수 있다.

구체적인 수치를 통해 전력 소비량과 난방열량의 값을 비교하면 다음 표 11과 같다.

표 11. Case 2 대비 Case 1의 값 비교

Table 11. Comparison of case 1 values compared to case 2

| Season | Power consumption | Heating heat quantity |
|-------------|-------------------|-----------------------|
| Spring/Fall | 172% | 163% |
| Summer | 166% | - |
| Winter | 172% | 155% |

표 11의 결과에서 보듯이 24시간 기기를 동작하는 것보다 도착 예정 시각을 예측해 각 기기를 제어하는 것이 경제적으로 비용을 절감할 수 있음을 알 수 있다.

Case 3의 경우 퇴근 이후 사용자가 시스템을 동작하여 환경을 조성하는 것으로 집에 도착했을 때 사용자가 쾌적함을 느낄 수 없다. 단순히 에너지소비량 측면에서 Case 2번과 비교 시 전력 소비량은 $\pm 1\%$ 로 유사하며, 난방열량 또한 봄/가을 - 1%, 겨울 - 6%로 유사하거나 약간 낮은 결과를 확인할 수 있다.

IV. 결론 및 향후 과제

본 논문에서는 기존 스마트 홈 케어 시스템과 다르게 자동제어를 통해 에너지 효율성을 높이고, 퇴근과 동시에 쾌적한 환경을 접할 수 있는 스마트 홈 케어 시스템을 제안하였다. 사용자 도착 예정 시간을 딥러닝을 통해 분석하고, 도착 시각 이전 집 내부의 쾌적한 상태를 제공함으로써 해당 시각에 쾌적한 실내 환경을 받기 힘들거나 에너지가 낭비될 수 있다는 단점을 개선하였다. 아울러 사람이 없는 시간 동안 낭비되는 에너지를 최소화하기 위해 효율적으로 기기를 운용하여 에너지 효율성, 즉 경제성 역시 확보하는 기회를 제공하였다.

모의실험을 통하여 상시 가동의 경우에 비해 전력 소비량은 약 35~39%를, 난방 열량은 약 42%가 절약되었다. 또한, 홈케어 기기를 사용하지 않는 경우와는 차이가 거의 없음을 확인할 수 있었다. 결론적으로 새롭게 제안하는 ‘딥러닝을 활용한 스마트 홈 케어 시스템’은 저비용으로 고효율의 에너지 활용과 열적 쾌적감 모두 얻을 수 있는 좋은 효과를 얻을 수 있었다.

본 연구는 스마트 홈케어 시스템이 대중화되고 있는 시기, 효율적인 에너지 운용을 통하여 에너지를 절감할 수 있는 새로운 시스템을 제안하였다는 점에서 의의가 있다.

References

- [1] M. S. Kim, "The Age of Single-Person Households, Smart Home Services Evolving", Report of NIPA, No. 6, pp. 1-13, Feb. 2018. [accessed : Dec, 10. 2022]
- [2] J. S. Kim, J. I. Lee, and D. H. Kim, "Air-conditioning and Heating Time Prediction Based on Artificial Neural Network and Its Application in IoT System", Journal of KIICE, pp 347-350, May 2018.
- [3] Y. J. Lee, J. H. Lee, and J. Y. Nah, "Older Adults' Experience of Smart-home Healthcare System", The Journal of the Korea Contents Association, Vol. 15, No. 5, pp. 414-425, May 2015. <https://doi.org/10.5392/JKCA.2015.15.05.414>.
- [4] L. SHI and J.-H. Jung, "A Study on the Smart Home Care of CCRC for the Elderly : Focus on the CCcRC Community for the Elderly in China", The Journal of the Korea Contents Association, Vol. 21, No. 12, pp. 803-815, Dec. 2021. <https://doi.org/10.5392/JKCA.2021.21.12.803>.
- [5] J. H. Lee, H. B. Lee, D. Y. Yoon, S. H. Kim and B. G. Kang, "A Study on the Implementation of Elderly-Related Home Care Products Using Jetbot", Proc. of KIIT Conference, Jeju, Korea, pp. 255-258. Jun. 2021.
- [6] Biying Yu, Feihu Sun, Chen Chen, Guanpeng Fu, and Lin Hu, "Power demand response in the context of smart home application", Journal of Energy, Vol. 240, Feb. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.122774>.
- [7] M. H. Jwa, K. J. Yeon, J. E. Lee, and K. Y. Kim, "Vegetable price prediction system using multiple linear regression models: Focusing on

- weather variables", Journal of ITPM, Vol. 13, No. 1, pp. 2223-2228, Feb. 2021.
- [8] Y. H. Oh, "High-School Baseball Pitcher's ERA(Earned Run Average) Prediction Using Multi-Variable Linear Regression Analysis Method", Journal of KKITS, Vol. 15, No. 4, pp. 497-506, Aug, 2020. <https://doi.org/10.34163/jkits.2020.15.4.006>.
- [9] Y. J. Lee, Y. H. Moon, J. Y. Park, and O. G. Min, "Recent R&D Trends for Lightweight Deep Learning", Electronics and Telecommunications Trends of ETRI, Vol. 34, No. 2, pp. 40-50, Apr. 2019. <https://doi.org/10.22648/ETRI.2019.J.340205>.
- [10] H. J. Kim, J. S. Kim, J. M. Lee, and D. H. Kim, "The effect of ventilation on reducing the concentration of hazardous substances in the indoor air of a Korean living environment", Journal of The Korean Society of Analytical Science, Vol. 33, No. 1, pp. 49-57, Feb. 2020. <https://doi.org/10.5806/AST.2020.33.1.49>.
- [11] J. H. Park, S. H. Lee, S. M. Yang, Y. H. Jeong, and H. E. Park, "Characteristics Variations of the Indoor Air Pollutants Concentration in Comparison with the Ventilation System", Journal of KOASE, pp. 633-634, Oct. 2009.
- [12] I. W. Ko, "Development of indoor air quality environmental management guidelines and Development of Indoor Air Certification Promotion Plan", Report of KEITI, pp. 1-113, Dec. 2021.
- [13] Ministry of Environment & National Academy of Environmental Sciences, "Manual for Indoor Air Quality Management in Housing", pp. 1-40, 2019. <https://www.korea.kr/archive/expDocView.do?docId=30650> [accessed : Dec. 10, 2022]
- [14] M. H. Kwon, "A Study on the Management of Indoor Contaminants in the Kitchen in Residential Environment", Journal of Ministry of Environment, pp. 1-48, Dec. 2013. <https://doi.org/10.23000/TRKO201700008451>.
- [15] J. C. Kim, J. H. Kim, Y. S. Kim, T. H. Lee, and C. M. Lee, "Efficiency of Removal for PM10 and NO2 by Air Cleaner in Residential Indoor Environment with Monte-Carlo Simulation", Journal of KSEH, Vol. 30, No. 3, pp. 221-229, 2004.
- [16] Korea Air Cleaning Association & Korea Equipment Technology Association, "Group standard for indoor humidifiers", pp. 1-26, Jan. 2019. <https://e-ks.kr/KSCI/ct/ptl/prvntc/curstat/detail.do?sessionId=VsUHk1n4ofPmQ+rYNd8JRfT9.node01?grpStdSn=16614¤tPageNo=1&pageSize=10&recordCountPerPage=10&searchType=1&searchText=#none> [accessed : Dec. 10, 2022]

저자소개

김 동 욱 (Dong-Wook Kim)



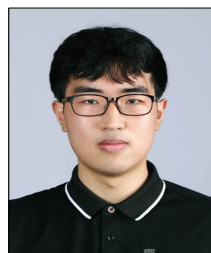
2016년 ~ 현재 : 금오공과대학교
전자공학부 학사과정
관심 분야 : 스마트그리드, 펌웨어,
딥러닝

안 성 우 (Seong-Woo An)



2016년 ~ 현재 : 금오공과대학교
전자공학부 학사과정
관심 분야 : 스마트그리드, 디지털
집적회로

김 종 원 (Jong-Won Kim)



2015년 ~ 현재 : 금오공과대학교
전자공학부 학사과정
관심 분야 : 스마트그리드,
전력전자

이 희 진 (Hee-Jin Lee)



2008년 2월 : 연세대학교

전기·전자공학부(공학사)

2013년 2월 : 연세대학교

전기·전자공학과(공학박사)

2015년 2월 ~ 현재 :

금오공과대학교 전자공학부 교수

관심 분야 : 전력 시스템,

전력전자, 스마트그리드