

건물 에너지 관리를 위한 인공지능 기술 동향과 미래 전망

Trends and Future Prospects of AI Technologies for Building Energy Management

정재익 (J. Jeong, jaeik1210@etri.re.kr)

에너지ICT연구실 선임연구원

박완기 (W.K. Park, wkpark@etri.re.kr)

에너지ICT연구실 책임연구원/실장

ABSTRACT

Building energy management plays a crucial role in improving energy efficiency and optimizing energy usage. To achieve this, it is important to monitor and analyze energy-related data from buildings in real time using sensors to understand energy consumption patterns and establish optimal operational strategies. Because of the uncertainties in building energy-related data, there are challenges in analyzing these data and formulating operational strategies based on them. Artificial intelligence (AI) technology can help overcome these challenges. This paper investigates past and current research trends in AI technology and examines its future prospects for building energy management. By performing prediction and analysis based on energy consumption or supply data, the future energy demands of buildings can be forecasted and energy consumption can be optimized. Additionally, data related to the surrounding environment, occupancy, and other building energy-related factors can be collected and analyzed using sensors to establish operational strategies aimed at further reducing energy consumption and increasing efficiency. These technologies will contribute to cost savings and help minimize environmental impacts for building owners and operators, ultimately facilitating sustainable building operations.

KEYWORDS 건물 에너지 관리, 데이터 분석, 인공지능, 최적 제어

1. 서론

현대 사회에서 건물은 에너지 소비의 중심 지점으로 떠오르고 있다. 전 세계적으로 지속 가능한 에너지 사용에 대한 중요성이 부각되고 있으며, 이에

따라 우리가 살고 일하는 공간인 건물의 에너지 관리 중요성이 점차 증대되고 있다. 실제로 건물 분야에서의 에너지 소비량은 전체 에너지 소비량의 20% 정도를 차지할 정도로 매우 높다[1]. 또한 2030년까지 글로벌 건물 에너지 관리 시스템 시장 규모

* DOI: <https://doi.org/10.22648/ETRI.2024.J.390404>

* 이 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다[No. 2020200000010].



본 저작물은 공공누리 제4유형

출처표시+상업적이용금지+변경금지 조건에 따라 이용할 수 있습니다.

©2024 한국전자통신연구원

는 134억 달러에 이를 것으로 예상되며, 예측 기간 동안 11.1%의 시장 성장률로 상승할 것으로 전망된다[2].

그러나, 전통적인 건물 에너지 관리 방법은 종종 효율적이지 못하며, 인력과 자원 낭비로 이어질 수 있다. 이는 전통적 방식이 주로 정적인 스케줄링 및 규칙 기반의 시스템을 사용하여 건물의 에너지 사용을 관리하고, 수동적인 모니터링과 제어를 기반으로 하기 때문이다. 규칙 기반 방식은 건물 내외부의 불확실성이 높은 다양한 요인을 고려하지 못할 수 있고, 모니터링과 수동 제어는 인력과 시간이 많이 요구된다.

이에 따라 인공지능 기술의 발전은 건물 에너지 관리에 새로운 해결책을 제시하고 있다. 최근 센서 기술들의 발전으로 건물의 에너지 사용 패턴 및 건물 내외부의 다양한 요인은 데이터화되어 수집 및 분석될 수 있다. 인공지능 기술은 이러한 데이터를 활용하여 건물의 미래 에너지 사용량을 예측하여 불확실성을 줄이고 최적의 에너지 절약 방법을 식별하는 데 도움을 줄 수 있다. 또한, 센서 기술과의 통합은 실시간으로 건물 내부 환경을 모니터링하고 제어하는 데도 도움을 준다. 인력과 시간을 투자하여 수동적으로 제어하지 않아도 인공지능 기술은 자동으로 실시간 모니터링 후 에너지 관리를 위한 최적의 제어 솔루션을 도출해 줄 수 있다.

이에 본고에서는 먼저 건물 에너지 관리 분야에 어떠한 인공지능 기술들이 어떤 기여를 하였는지 지금까지의 연구 동향을 소개하고자 한다. 특히 빅데이터 및 하드웨어 기술의 발전으로 인한 딥러닝 기술의 급격한 성장이 어떤 기여를 하였는지 위주로 알아볼 것이다. 또한, 미래에 기대되는 인공지능 기술적 전망을 제시하여 앞으로 건물 에너지 관리 분야에서 어떤 발전들이 이뤄질 수 있는지도 알아

보고자 한다. 특히 최근 주목받는 인공지능 기술들이 건물 에너지 관리에 어떤 기여를 할지도 알아볼 것이다. 이를 통해 건물 에너지 관리 분야에서의 인공지능의 역할과 중요성을 강조하고, 지속 가능한 미래를 위한 전략적 방향을 제시할 것이다.

II. 기술 동향

인공지능 기술은 컴퓨터 비전, 자연어 처리, 소리 인식, 최적 제어, 시계열 분석 등의 기술들에 널리 활용되고 있다[3]. 에너지 관련 데이터들은 주로 시계열 데이터이기 때문에 시계열 분석 기술이 가장 많이 활용되어 왔고, 건물의 자동화를 이루기 위해 최적 제어 기술도 많이 연구되어 왔다. 이외에 컴퓨터 비전, 자연어 처리, 음성 인식 기술들도 건물 에너지 관리에 많이 사용되고 있다.

본 장에서는 인공지능의 각 분야 기술들이 건물 에너지 관리에 어떤 기여를 해왔는지 설명하고자 한다. 표 1은 앞으로 소개할 건물 에너지 관리 기술 동향에서 각 인공지능 기술별로 어떠한 적용 사례들이 있었는지를 정리한 것이다. 각각의 사례가 건물 에너지 관리에 어떠한 이점을 주게 되는지, 각각의 사례별로 주로 사용되는 인공지능 모델로는 어떠한 것들이 있는지 살펴볼 것이다.

표 1 건물 에너지 관리를 위한 인공지능 기술 동향

기술	사례
시계열 분석	수요 예측, 신재생에너지 예측, 클러스터링 및 이상 탐지, 시스템 모니터링 등
최적 제어	HVAC 제어, 조명 시스템 제어, 냉방 및 냉동 제어, 펌프 시스템 제어 등
컴퓨터 비전	조명 관리, 열 손실 감지, 온도/습도 모니터링, 재실자 파악 등
소리 인식	비정상 소음 감지, 비상 상황 감지, 재실자 파악 등
자연어 처리	스마트 홈 시스템, 건의 및 제안 시스템 등

1. 시계열 분석

건물 에너지 관리 기술에서 시계열 분석은 매우 중요한 역할을 한다. 시계열 데이터는 일정 시간 간격으로 측정된 데이터의 시퀀스를 나타내며, 건물의 전력 사용량, 온도, 습도, 조명 수준 등과 같은 다양한 변수의 시간에 따른 변화를 기록한다. 이러한 데이터를 분석하고 모델링함으로써 건물의 에너지 효율성을 개선하고 비용을 절감할 수 있다.

가. 수요 예측

시계열 분석이 가장 많이 활용되는 분야는 건물 에너지 수요 예측이다. 수요 예측을 통해 건물의 에너지 사용량을 예측하면 에너지를 효율적으로 관리하고 사용할 수 있으며, 불필요한 에너지 소비를 줄이고 자원을 보다 효율적으로 활용할 수 있다[4]. 또한 일일, 주간 또는 계절별로 에너지 소비량의 변화를 분석하면 에너지 소비의 피크 시간을 식별할 수 있다. 이는 피크 시간에서의 자원 할당을 최적화하여 비용을 절감하거나 수요 관리 계획 수립 및 참여 동기부여에도 도움이 될 수 있다.

수요 예측에 전통적으로 많이 사용되었던 기술은 AutoRegressive Integrated Moving Average(ARIMA)이다. ARIMA는 자기 회귀, 누적 차분, 이동 평균 3가지 요소로 구성되어 있다. 자기 회귀는 ARIMA에서 가장 중요한 요소로, 과거의 값과 현재의 값 사이의 관계를 선형적으로 모델링한다. 여기서 누적 차분을 통해 시계열 데이터의 정상성을 만들어주고, 이동 평균을 통해 시계열 데이터의 불확실성을 줄여준다. ARIMA 모델은 복잡하지 않으면서도 수요 예측에서 높은 정확도를 보여왔다. 또한, 과거의 값뿐만 아니라 에너지 수요에 영향을 미치는 외부 요인들까지도 고려한 ARIMAX 모델을 통해 정확도를 더욱 향상시킬 수 있다.

그러나 ARIMA 모델은 선형 모델로서 비선형적인 패턴을 적절하게 모델링하기는 매우 어렵다. 기계학습 모델은 입력과 출력 사이의 비선형성을 모델링하기에 매우 적합하다. 딥러닝 기술이 발전하기 전 가장 많이 사용되어 왔던 기술은 SVM(Support Vector Machine)이다. SVM은 입력과 출력 사이를 선형으로 모델링할 수 있는 최적의 모델을 찾아줄 뿐만 아니라, 데이터를 고차원으로 매핑하여 비선형 모델을 표현하는 데도 탁월하기 때문이다. SVM과 같은 기계학습 기술들이 수요 예측에도 활용되면서 수요 예측의 정확도도 많이 향상되었다.

빅데이터와 하드웨어의 발전은 딥러닝의 발전을 이끌어냈다. 딥러닝은 인공지능영향을 바탕으로 하고 있는데 과거에는 학습 불안정성, 과적합 등의 문제로 많이 사용되지 않았으나, 이들이 하나씩 해결되면서 기존 기계학습 기술들의 성능을 월등히 이겨내기 시작했다. 기계학습과 딥러닝의 가장 큰 차이는 특징 추출에 있는데, 기존 기계학습은 사람이 설계한 특징을 사용하여 모델을 학습시킨다면, 딥러닝은 이러한 특징 추출 과정을 자동화한다. 많은 양의 데이터와 계산 리소스가 있는 환경에서는 딥러닝이 좋은 성능을 낼 수 있다.

딥러닝은 수요 예측에서 RNN(Recurrent Neural Network)을 위주로 발전하였는데, 이는 RNN이 시계열 데이터를 모델링하기 좋기 때문이다. RNN은 시계열 데이터의 시간적 의존성을 고려할 수 있는 모델이고, 건물 에너지 수요 데이터의 긴 시퀀스를 처리하는 데도 효과적이다. 또한, RNN은 실시간 시계열 수요 데이터를 사용하여 동적으로 업데이트되는 모델을 구축할 수도 있다. 특히 RNN의 변형인 LSTM(Long Short-Term Memory)은 RNN의 문제점인 그라디언트 손실 문제도 해결하여 예측 정확도를 많이 개선하였다. 현재까지도 RNN은 건물 에너지 수요 예측의 최첨단 모델로서 많은 산업 현장에서

활용되고 있다.

다중 변수(다른 센서에서 얻은 데이터) 또는 다중 스케일(다른 시간 간격)의 시계열 데이터와 같은 다양한 입력 형태를 처리하기 위해 CNN(Convolutional Neural Network) 모델도 수요 예측에 널리 활용될 수 있다. 예를 들어 다중 변수에서 각 변수 간의 상관관계를 고려하거나 공간적 정보를 고려할 수 있으며, 다중 스케일의 특징을 학습하면 예측 모델에 다양한 시간적 특성을 반영하는 데 도움이 된다. 또한 다양한 데이터 입력 형태를 처리할 때 CNN을, 데이터 간의 시계열 특성을 처리할 때 RNN을 사용하는 혼합 모델도 많이 연구되었다. 현재까지 CNN은 건물 에너지 수요 예측에 RNN처럼 널리 사용되지는 않지만, 다양한 연구 성과는 CNN이 건물 에너지 수요 예측 분야에서 유용하게 사용될 수 있음을 시사한다.

나. 신재생에너지 예측

태양광과 풍력 같은 신재생에너지는 온실가스 배출을 줄이고 대기 오염을 감소시키는 데 도움이 되기 때문에 화석 연료에 비해 친환경적인 에너지로 많이 주목받고 있다. 이에 따라 신재생에너지를 활용하여 에너지를 공급받는 건물도 많아지고 있다. 신재생에너지 공급량 역시 건물 에너지 수요량처럼 미래 공급량이 불확실하기 때문에 에너지의 효율적인 관리를 위해 예측이 매우 중요하다[5].

신재생에너지 데이터 역시 시계열 데이터이기 때문에 신재생에너지 예측의 인공지능 기술은 수요 예측의 기술과 매우 유사하게 발전하였다. ARIMA 기반 선형 모델에서부터 시작하여 기계학습의 비선형적 모델링으로 예측 정확도를 향상하였고, 딥러닝 기술의 발전으로 정확도가 더욱 향상되었다. 차이점으로는 외부 기상 데이터와의 연계성이 신재생에너지 예측에서 더 크기 때문에 다양한 요소를 고

려하기 위해 비선형성 모델이 수요 예측보다 더 중요하다라는 점이 있다. 또한, 실제로 필요한 수요량은 전체 전력 수요량에서 신재생에너지 발전량을 뺀 값이기 때문에 이를 Net Load로 정의하고, Net Load 예측을 하는 연구도 발전하였다.

다. 클러스터링 및 이상 탐지

수요 예측과 신재생에너지 예측은 대체로 지도 학습에 기반하고 있다. 비지도학습도 건물 에너지의 시계열 데이터를 분석하는 데 많이 사용되고 있다. 비지도학습의 대표적인 기술로 클러스터링이 있다. 클러스터링은 데이터 내에서 비슷한 특성을 가진 데이터들을 모아 군집화하는 것이다. 먼저 유사한 건물을 군집화할 수 있다. 이를 통해 유사한 건물군의 에너지 사용 패턴을 분석하고 이를 기반으로 각 군집에 최적화된 에너지 관리 전략을 개발할 수 있다. 또한, 앞서 설명한 예측 모델을 개발할 때도 클러스터별로 다른 예측 모델을 개발하면 각 건물의 특성에 맞는 예측을 수행할 수 있다. 클러스터링 알고리즘은 대표적으로 K-평균 클러스터링이 있다. 딥러닝 기술 중에서는 오토인코더를 활용하여 클러스터링을 수행할 수 있다. 오토인코더가 학습한 특성을 K-평균 클러스터링 알고리즘의 입력으로 사용할 수도 있고, 특성이 표현되는 잠재 공간에서 softmax 함수를 사용하여 클러스터링을 수행할 수도 있다.

또 다른 비지도학습의 분야로 이상 탐지를 들 수 있다. 수요 예측이나 신재생에너지 예측을 수행할 때 정상적인 데이터 패턴을 학습해야 데이터 품질을 개선할 수 있고, 예측 모델의 안정성과 신뢰성을 향상시킬 수 있다. 앞서 설명한 클러스터링도 이상 탐지에 활용될 수 있다. 이상 데이터는 다른 데이터들과는 매우 다른 패턴을 가지고 있어서 클러스터링에서 분리될 수 있기 때문이다. 딥러닝 모델

중에서는 오토인코더나 GAN(Generative Adversarial Network)과 같은 생성 모델이 이상 탐지에 활용된다. 오토인코더는 입력 데이터의 정상적인 패턴을 학습하고, 이와 다른 패턴을 가진 이상치를 감지하는 데 유용하다. GAN은 정상적인 데이터의 분포를 학습한 후 새로운 데이터가 이 분포와 다를 경우 이를 이상치로 간주할 수 있다.

데이터의 이상치 중 데이터의 일부가 누락되거나 비어 있는 상태가 있는 경우 이를 결측치라고 하며, 결측치를 처리하고 이를 적절히 대체하는 기술도 별도로 연구되고 있다. 건물 에너지의 수요 예측이나 신재생에너지 예측을 위한 데이터를 수집하는 과정에서 하드웨어나 네트워크의 문제로 특정 시간대에 결측치가 생길 수 있다. 일반적으로 결측치가 나타난 시간대의 다른 값들의 평균값으로 대체하거나 선형 보간법이 사용된다. 딥러닝 모델 중에서는 오토인코더와 GAN 같은 생성 모델이 결측된 부분에 적절한 값을 생성하는 식으로 활용될 수 있으며, 결측된 구간이 길수록 평균값 대체나 선형 보간법보다 효과적인 성능을 보인다[6].

라. 시스템 모니터링

에너지의 수요량 및 공급량과 같은 직접적인 요소 외에도 건물 에너지 관리에서는 다양한 시계열 데이터를 분석 및 예측할 필요가 있다. 대표적으로 건물 내의 에너지 시스템 및 설비를 실시간으로 모니터링하고 관리하는 것도 중요하다. 온도, 습도 등의 센서 데이터를 실시간으로 수집하고 분석하면 시스템의 작동 상태를 파악하고 문제를 조기에 발견할 수 있다.

시스템 모니터링 기술에서 가장 중요한 요소는 건물 내부의 센서 네트워크이다. 건물의 여러 지점에서 다양한 센서를 통해 에너지 사용량, 온도, 습도, 조명 수준 등의 데이터를 실시간으로 수집할 수

있다. 수집된 데이터는 데이터 수집 시스템을 통해 중앙 집중적으로 저장되고 처리된다. 이 시스템은 향후 예측, 분석 및 시각화 등의 서비스에 활용될 수 있다.

에너지와 직접적으로 연관된 요소가 아니더라도 에너지 사용량에 영향을 주는 요소의 경우 관련 시스템 및 설비의 모니터링 및 데이터 수집을 통해 에너지 절감을 이끌어낼 수 있다. 일례로 염색공장의 경우 에너지 소비량이 섬유산업에서 매우 높은 편인데, AI 기반 흡진율 예측 정확도 향상을 통해 불량을 줄이면 초과 에너지 투입을 방지할 수 있다[7]. 또한, 고온 프레스 성형 공정에서는 금형 온도를 정확히 추정함으로써 에너지 소비를 최소화하면서도 제품 품질을 유지하는 데 도움을 줄 수 있다[8].

앞서 설명한 이상 탐지 기술은 수요량이나 신재생에너지 공급량 데이터 내에서 정상적이지 않은 패턴을 탐지하는 데 집중되었다면, 시스템 모니터링 기술에서는 시스템 자체에서 발생하는 이상 현상을 탐지할 때 쓰일 수 있다. 시스템의 작동 상태를 파악하고 문제를 조기에 발견하면 시스템의 효율성을 최적화하고 고장을 예방할 수 있다. 데이터 수집과 이상 탐지가 실시간으로 이루어지면 장비의 고장이 감지되는 즉시 관리자에게 경고가 전달되고 이를 빨리 해결하여 에너지 낭비를 방지할 수 있다.

2. 최적 제어

건물 에너지 관리 기술에서 시계열 분석 다음으로 중요한 역할을 하는 인공지능 기술은 최적 제어 기술이다. 최적 제어 기술은 에너지 절감에 크게 기여할 수 있는데, 건물 내의 다양한 시스템을 지능적으로 제어하여 에너지를 효율적으로 사용하고, 온도, 조명, 공기 순환 등의 요소를 최적화하여 에너지 소비를 최소화할 수 있기 때문이다. 이와 동시에 건

물 내부 환경을 사용자의 편의에 맞게 조절하여 사용자 편의성을 향상시킬 수 있고, 시설 유지 보수 및 안전에도 큰 도움을 줄 수 있다. 건물 에너지 관리를 위해서는 다양한 제어 시스템이 사용되지만, 대표적으로 HVAC 제어, 조명 시스템 제어 등이 있다.

가. HVAC 제어

HVAC(Heating, Ventilating, and Air Conditioning) 제어는 건물 내부의 온도, 습도 및 공기 품질을 최적화하여 에너지 소비를 최소화하고 사용자의 편의성을 향상시키는 것을 목표로 한다. HVAC 시스템은 건물의 편안한 환경을 유지하기 위해 난방, 냉방 및 공기 순환을 제어하는 데 사용된다. HVAC 최적 제어를 위해서는 일반적으로 건물 내부 및 외부의 온도, 습도, 태양 광선, 풍속 등과 같은 다양한 데이터를 수집하고, 건물의 미래 온도, 습도, 에너지 소비 등을 예측하는 단계를 거친다. 이는 앞서 설명했던 시계열 분석 기술을 통해 이루어질 수 있다.

HVAC 제어는 이러한 예측값을 기준으로 수행되는데 예측값 자체는 불확실성이 있기 때문에 일반적인 최적화 기법이 사용되기에는 어렵다. 최적 제어에 전통적으로 많이 사용되었던 기술은 확률적 최적화이다. 이는 최적 제어에 있어 불확실한 요소들을 확률적으로 모델링하여 최적 솔루션을 구하는 방법이다. 그러나 HVAC 제어에 필요한 미래 온도, 습도, 에너지 소비량 등은 정확한 확률적 모델링이 되지 않는다. 대신 이들이 미래에 나타날 수 있는 다양한 시나리오를 형성하여 최적화를 수행한다. 그러나 이러한 미래 시나리오들은 매번 달라지기 때문에 매 시간대별로 시나리오 생성 및 최적화를 수행해야 하고, 이는 상당한 계산 복잡도를 야기한다.

이에 따라 HVAC 제어에도 인공지능 기법이 많이 활용되기 시작하였다. 대표적으로 HVAC 제어에 사용되는 인공지능 기법은 강화학습이다[9]. 이를

통해 HVAC 시스템은 다양한 제어 동작을 시도하고 그 결과를 피드백으로 받아들여 효율적인 작동 방법을 학습하게 된다. 강화학습은 최근 딥러닝과 결합하여 심층강화학습으로 발전하였다. 심층강화학습은 가치 기반 방법과 정책 기반 방법으로 나뉘는데, HVAC 제어에는 정책 기반 방법이 더욱 효과적이다. 이는 가치 기반 방법이 이산적 모델링에 제한된 반면, 정책 기반 방법은 이산적 모델링과 연속적 모델링을 모두 수행할 수 있는데, 온도, 습도 등의 값은 연속적인 값을 갖기 때문에 연속적 모델링이 필요하기 때문이다. 정책 기반 방법은 딥러닝 모델의 입력으로 상태(State), 출력으로 행동(Action), 목적 함수를 평균 누적 보상(Reward) 최대화로 하여 학습을 수행한다.

나. 조명 시스템 제어

조명 시스템은 건물 내부의 조명을 제어하고 에너지를 관리하는 중요한 요소이다. 조명 시스템은 주로 전력 소비를 최소화하고 사용자의 편의성을 고려하여 설계된다. 최근 건물은 전통적인 형광등이나 백열등 대신 발광 다이오드 조명을 사용하여 에너지 효율성을 높이고, 주변 환경의 밝기에 따라 조명을 조절하는 조도 제어, 조명을 특정 시간대에만 작동하도록 스케줄링, 사람의 존재 여부에 따라 조명의 작동 여부를 판단하는 모션 감지 등의 기술이 적용된다. HVAC 제어에서와 마찬가지로 조명 시스템 제어에 강화학습 기술이 적용될 수 있다. 예를 들어, 시간대별 사용 패턴이나 주변 조도에 따라 최적의 조명 전략을 학습하여 에너지 소비를 최소화할 수 있다.

다. 다양한 시스템 제어

HVAC이나 조명 시스템 외에도 건물 에너지 관리를 위해 다양한 시스템을 인공지능 기술을 활용하

여 제어할 수 있다. 예를 들어 상업 냉장 및 냉동 시설에서는 냉장고와 냉동고의 온도를 정확하게 제어해야 한다. 최적 제어 기술은 냉장고 및 냉동고의 압축기, 팬 및 온도 제어 장치를 효율적으로 운영하여 에너지를 절약하고 제품의 신선도를 유지할 수 있다. 또한, 건물 내부의 물 이동을 위해 사용되는 펌프 시스템에서 최적 제어 기술은 펌프의 운전 및 속도를 조절하여 물의 이동을 최적화하고 에너지를 절약할 수 있다. 건물에 태양광 패널이나 에너지 저장 시스템이 있는 경우 태양광 패널 각도 조정, 에너지 저장 시스템 충방전 제어에도 인공지능 기술이 활용된다.

3. 기타 인공지능 기술

건물 에너지 관리를 위한 인공지능 기술에서는 시계열 분석과 최적 제어 기술이 많이 사용되지만, 컴퓨터 비전, 소리 인식, 자연어 처리와 같은 인공지능 기술도 건물 에너지 관리에 크게 기여할 수 있다. 이들은 건물 에너지 효율화에 직접적으로 기여하기 보다는 이들의 영향을 미치는 요인들을 파악하여 간접적으로 기여하는 데 주로 사용된다.

가. 컴퓨터 비전

컴퓨터 비전 기술은 건물 내부의 조명 수준을 모니터링하고 조절하는 데 사용될 수 있다. 센서가 주변 환경을 감지하고, 이 정보를 컴퓨터 비전 시스템이 처리하여 자동으로 조명을 조절하거나 스마트 조명 시스템에 전달할 수 있다. 또한, 열 이미지를 분석하여 건물의 열 손실을 감지하는 데 사용될 수 있다. 이를 통해 건물의 절연 상태를 모니터링하고 효율적인 절연 시스템을 구현하여 열 에너지 손실을 최소화할 수 있다. 컴퓨터 비전을 사용하여 건물 내부의 온도 및 습도를 모니터링하면 HVAC 제어

시스템에도 도움을 줄 수 있다.

건물 에너지는 건물 내부의 인원수에 따라 사용량이 크게 달라지기 때문에 재실자를 파악하는 것은 매우 중요하다[10]. 건물 내에 있는 사람 수에 따라 조명 및 HVAC 시스템을 조절할 수 있기 때문이다. 컴퓨터 비전은 재실자 파악에 매우 중요한 역할을 한다. 건물 내에서 사람을 인식하고 그들의 움직임을 실시간으로 추적할 수 있고, 이를 통해 건물 내에 있는 사람의 수를 추정할 수 있다. 이를 통해 건물의 에너지 사용량을 최적화하고 필요한 곳에만 에너지를 공급함으로써 에너지를 절약할 수 있다.

나. 소리 인식

인공지능 기반 소리 인식 시스템은 건물 내에서 발생하는 비정상 소음을 식별하고 감지할 수 있다. 예를 들어, 기계 장비의 고장이나 파손 시 특정한 소리 패턴을 식별하여 해당 기기의 상태를 모니터링하고 유지보수가 필요한지를 파악할 수 있다. 또한, 건물 내에서 화재나 비상 상황 시 발생하는 특정한 소리를 감지하여 즉각적으로 대응할 수도 있다. 이를 통해 화재의 조기 감지와 대응이 가능하며, 건물 내 비상 상황에 대한 신속한 대응을 가능하게 한다.

건물 내에서 발생하는 소리 패턴을 분석하면 사용자의 행동을 감지하고 분류하여 재실자 파악에도 도움이 될 수 있다. 예를 들어, 사람의 발걸음 소리 패턴을 분석하여 건물 내 이동 패턴을 파악하거나, 음식 조리나 물 사용과 같은 활동을 감지하여 에너지 사용 패턴을 분석할 수도 있다. 컴퓨터 비전에 기반한 재실자 파악 기술과 결합하면 재실자 파악 정확도와 에너지 효율을 향상시킬 수 있다.

다. 자연어 처리

건물 내에 설치된 스마트 홈 시스템에 자연어 처리나 음성 인식 기술을 사용하면 주거자가 음성 명

령을 사용하여 조명, HVAC 시스템 등을 제어할 수 있다. 이는 최적 제어 시스템에서 판단한 것 외에 사용자가 추가로 필요한 사항까지 요청할 수 있게 되는 효과가 있다. 또한 사용자가 건물 내 에너지 사용에 관한 정보를 질문하고 피드백 받을 수도 있으며, 사용자로부터 수집한 피드백을 분석하여 개선 방안을 도출하는 데 적용할 수도 있다.

III. 미래 전망

건물 에너지 관리 시스템의 미래 전망은 인공지능 기술의 발전과 지속 가능한 에너지 관리에 대한 필요성이 계속해서 증가함에 따라 밝아지고 있다. 다음은 몇 가지 주요한 미래 기술 동향을 소개한다.

1. 발전된 AI 기술

인공지능 기술은 계속해서 발전하고 있고, 이는 건물 에너지 관리에도 많은 도움을 준다. 대표적으로 시계열 분석 기술에서 수요 예측, 신재생에너지 예측, 클러스터링, 이상 탐지, 시스템 모니터링 등의 정확도가 크게 향상될 수 있다. 정확도가 증가하면 불확실성이 줄어들기 때문에 에너지 관리에 큰 도움이 될 수 있다. 또한, 최적 제어에서도 이전보다 더 나은 솔루션을 도출할 수 있고 사용자의 편의성을 확대하면서 에너지 소비량도 줄일 수 있게 된다. 이외에 컴퓨터 비전, 소리 인식, 자연어 처리에서도 정확도 및 에너지 효율 향상을 이끌어낼 수 있다.

인공지능 기술은 다른 분야를 중심으로 발전할 수는 있어도 인공지능 기술의 범용성이 넓은 만큼 해당 기술은 건물 에너지 관리에 적용하는 것도 빠르게 이루어질 필요가 있다. 대표적으로 트랜스포머 기술을 들 수 있다. 트랜스포머는 자연어 처리에서 뛰어난 성능을 보이며 두각을 드러내기 시작했

는데, 이는 RNN의 단점인 장기 의존성 처리의 어려움, 순서에 너무 의존하는 처리, 병렬 처리 불가능 등의 문제점을 해결했기 때문이다. 트랜스포머를 사용하여 건물 에너지를 관리하는 연구는 꾸준히 진행되고 있으나 트랜스포머가 자연어 처리 분야 위주로 발전한 만큼 건물 에너지 관리에서는 아직 많은 적용이 이루어지지 않았다. 따라서 트랜스포머는 건물 에너지 관리 시스템의 미래 기술로서 다양한 방식으로 활용될 것으로 기대되고 있다.

트랜스포머뿐만 아니라 다양한 인공지능 기술들이 계속해서 빠르게 발전하고 있다. 해당 기술이 어떤 분야에서 개발되고 검증되었는지를 명확히 하기 위해서 특정 분야 위주로 해당 기술이 설명되는 경우가 대부분이다. 트랜스포머 역시 마찬가지로 자연어 처리 분야 위주로 설명되었다. 그러나 이렇게 개발된 인공지능 기술은 특정 분야뿐만 아니라 다른 분야에서도 큰 영향을 미칠 수 있다. 앞으로 새로 나타나는 인공지능 기술이 건물 에너지 관리에 큰 도움이 될 것 같은 기술이라면 적극적으로 연구하여 도입할 수 있고 건물 에너지 관리에 크게 기여할 수 있을 것이다.

2. 사물인터넷과의 통합

미래의 건물 에너지 관리 시스템은 사물인터넷 기술과 더 깊게 통합될 것으로 예상된다. 현재 건물 에너지 관리에 인공지능을 적용할 때 어려움을 겪는 이유 중 하나로 데이터 수집의 어려움을 들 수 있다. 사물인터넷 기술은 다양한 종류의 센서와 장치를 사용하여 다양한 데이터를 실시간으로 수집할 수 있다. 또한 자동화된 데이터 수집, 분산된 데이터 수집, 유연한 데이터 수집 등을 가능하게 하여 데이터 수집의 어려움을 해결하는 데 큰 도움을 줄 수 있다. 사물인터넷의 발전은 네트워크 결함의 확률도

줄여줄 수 있어 데이터의 이상치나 결측치 문제도 해결해 줄 수 있다.

사물인터넷은 데이터 수집에 도움이 될 수 있으나 데이터의 레이블링은 또 다른 문제가 될 수 있다. 지도학습의 경우 레이블링이 되어있어야 학습 알고리즘을 적용할 수 있기 때문이다. 일례로 재실자 파악의 경우 이미지 데이터에서 재실자의 위치를 일일이 라벨링한 후에 학습해야 하는 문제점이 있다. 이를 위해 미래에는 비지도학습과 자기지도학습 방식이 많이 활용될 것으로 예상된다. 비지도학습은 레이블링을 요구하지 않기 때문에 레이블링 작업에 소요되는 비용을 고려하지 않아도 된다. 자기지도 학습은 데이터 자체에서 레이블을 생성하여 모델을 학습하기 때문에 레이블링 비용을 절감할 수 있게 된다.

데이터 수집에 있어 데이터 보안 문제도 자연스럽게 따라올 수 있다. 그러나 최근 연합학습의 발전은 이 문제를 해결해주는 데 큰 도움이 될 수 있다. 연합학습은 분산된 여러 건물에서 데이터를 수집하여 학습하고 모델을 업데이트하는 분산학습 방법을 가리킨다. 각 건물에서 학습된 모델은 중앙 서버로 전송되어 통합되고, 중앙 서버는 전체 데이터를 고려하여 최종 모델을 개선한다. 이러한 방식으로 연합학습은 데이터를 중앙 집중식으로 수집하지 않고도 분산된 데이터에서 모델을 학습할 수 있어 데이터 보안 문제를 해결할 수 있다.

3. 자동화 및 자율 운영

미래의 건물 에너지 관리 시스템은 인간 개입 없이 건물 시스템을 자율적으로 운영할 수 있는 높은 수준의 자동화를 달성할 것으로 예상된다. 먼저 자율적인 운영 시스템은 실시간 데이터 분석을 통해

건물의 에너지 사용 패턴을 이해하고 최적의 운영 전략을 실시간으로 결정할 수 있다. 미래의 자동화된 건물 에너지 관리 시스템은 에너지 비용을 줄이는 데 도움이 되며, 유지 관리 및 운영 비용과 인력 비용을 절감할 수 있다. 인간 개입 없이 자동으로 운영되는 건물 에너지 관리 시스템은 사용자에게 편의성을 제공할 수 있고, 사용자는 시스템에 개입하지 않고도 편안하고 안정적인 환경을 유지할 수 있게 된다.

건물 에너지 관리의 완전한 자동화를 이루기 위해서는 강화학습 기반 최적 제어 기술이 핵심이 될 수 있다. 그러나 실제 건물에 강화학습 기술을 적용하는 것은 몇 가지 어려움이 있어 아직 강화학습 기술이 제대로 적용되지는 못했다. 이는 강화학습 모델을 설계할 때 현실 세계의 매우 복잡하고 다양한 요소를 고려하기 어렵기 때문이다. 건물의 구조, 사용 패턴, 외부 기상 조건 등을 고려해야 하기 때문에 환경의 복잡성은 강화학습 모델을 설계하고 구현하는 데 어려움을 줄 수 있다. 또한, 강화학습 모델 학습을 위해 건물 환경에서 많은 양의 데이터를 수집하기 어렵고, 안정성과 신뢰성도 떨어질 수 있다.

많은 연구가 진행된 강화학습 기반 최적 제어의 실생활 적용을 위해서는 이러한 실생활 적용 한계점을 극복하는 것이 필요할 것이다. 대표적으로 모방학습과 오프라인 강화학습이 이러한 한계점을 해결해줄 수 있는 기술로 주목받고 있다. 모방학습은 전문가의 행동을 모방하여 학습하는 기술로 강화학습의 초기 학습 과정을 안정화시킬 수 있다. 예를 들어, 건물 관리자가 직접 제어한 HVAC 시스템의 조절 행동을 모방하는 식으로 학습을 진행할 수 있다. 오프라인 강화학습은 실제 환경과 상호작용하지 않고도 과거 데이터를 사용하여 학습하는 것으로 실제 환경에 적용하기 전 발생할 수 있는 문제를 미리

파악하고 최적의 운영 전략을 학습할 수 있다.

IV. 결론

본고에서는 건물 에너지 관리를 위한 인공지능 기술의 최신 동향과 미래 전망에 대해 탐구하였다. 현재의 기술 동향을 통해 인공지능 기술이 건물 에너지 효율성을 향상시키고 지속 가능한 건축 환경을 조성하는 데 중요한 역할을 한다는 것을 확인할 수 있었다. 특히, 딥러닝과 강화학습 같은 기술은 건물 에너지 관리에 혁신적인 해결책을 제공할 수 있음도 확인되었다.

미래에는 발전된 인공지능 기술, 사물인터넷과의 통합, 자동화와 자율 운영을 통해 더욱 지능적이고 자동화된 건물 에너지 관리 시스템이 발전할 것으로 전망된다. 이러한 발전은 에너지 효율성을 극대화하고 비용을 절감하며 동시에 환경을 보호하는데 도움이 될 것이다. 더 나은 건물 에너지 효율성과 환경 보호를 위해 계속해서 연구와 혁신이 이루어질 것으로 기대된다.

약어 정리

ARIMA AutoRegressive Integrated Moving Average

CNN Convolutional Neural Network
 GAN Generative Adversarial Network
 HVAC Heating, Ventilating, and Air Conditioning
 LSTM Long Short-Term Memory
 RNN Recurrent Neural Network
 SVM Support Vector Machine

참고문헌

- [1] 정연패 외, "건물에너지 사용 영향인자별 에너지 성능분석 도구 개발," 한국에너지기술대회, 2023.
- [2] KBVResearch, <https://www.kbvresearch.com/building-energy-management-systems-market/>
- [3] Papers with Code, <https://paperswithcode.com/>
- [4] 정운영 외, "데이터 특성에 적합한 전처리를 이용한 전력 수요 예측 방법," 한국전기전자학회 학술대회, 2023.
- [5] 이정인 외, "통계적 및 인공지능 모형 기반 태양광 발전량 예측 모델 비교 및 재생에너지 발전량 예측제도 정산금 분석," 전기전자학회논문지, 2022.
- [6] 정재익, 구태연, 박완기, "협업필터링 적대적 오토인코더 기반 희소 에너지 데이터 결측치 처리," 한국통신학회 학술대회논문집, 2023.
- [7] 이정인, 박완기, 김상하, "염색공장의 흡진율 계측을 위한 복합센서 흡진율 계측 모델 개발," 전기전자학회논문지, 2022.
- [8] 김태형, 한진수, 박완기, "고온 프레스 성형 공정을 위한 AI 기반 금형 온도 추정 모델 설계 및 구현," 한국에너지기술대회, 2022.
- [9] 한승준 외, "강화학습 기반 HVAC 제어 및 시뮬레이션 기법," 전자공학회논문지, 제60권 제4호, 2023, pp. 48-51.
- [10] 정재익, 구태연, 박완기, "ToF 이미지 및 클러스터링 기반 라벨링 효율적인 재실인원 계수 센서," 한국통신학회 학술대회논문집, 2024, pp. 851-852.