

# 가구당 기기별 에너지 사용량 예측을 위한 딥러닝 모델의 설계 및 구현\*

## Design and Implementation of Deep Learning Models for Predicting Energy Usage by Device per Household

이주희 · 이강윤†

가천대학교 컴퓨터공학과

### 요약

우리나라는 자원 빈국인 동시에 에너지 다소비 국가이다. 또한 전기 에너지에 대한 사용량 및 의존도가 매우 높고, 총 에너지 사용의 20% 이상은 건물에서 소비된다. 딥러닝과 머신러닝에 대한 연구가 활발해지면서 다양한 알고리즘을 에너지 효율 분야에 적용하려는 연구가 진행되고 있으며, 에너지의 효율적인 관리를 위한 건물에너지관리시스템(BEMS)의 도입이 늘어가는 추세이다. 본 논문에서는 스마트플러그를 이용하여 직접 수집한 가구당 기기별 에너지 사용량을 바탕으로 데이터베이스를 구축하였다. 또한 RNN과 LSTM 모델을 이용하여 수집한 데이터를 효과적으로 분석 및 예측하는 알고리즘을 구현하였다. 추후 이 데이터는 에너지 사용량 예측을 넘어 전력 소비 패턴 분석 등에 적용할 수 있다. 이는 에너지 효율 개선에 도움이 될 수 있으며, 미래 데이터의 예측을 통해 효과적인 전력 사용량 관리에 도움을 줄 것으로 기대된다.

■ 중심어 : 에너지 모니터링, 에너지 사용량 예측, 에너지 관리 시스템, 머신러닝 모델

### Abstract

Korea is both a resource-poor country and a energy-consuming country. In addition, the use and dependence on electricity is very high, and more than 20% of total energy use is consumed in buildings. As research on deep learning and machine learning is active, research is underway to apply various algorithms to energy efficiency fields, and the introduction of building energy management systems (BEMS) for efficient energy management is increasing. In this paper, we constructed a database based on energy usage by device per household directly collected using smart plugs. We also implement algorithms that effectively analyze and predict the data collected using RNN and LSTM models. In the future, this data can be applied to analysis of power consumption patterns beyond prediction of energy consumption. This can help improve energy efficiency and is expected to help manage effective power usage through prediction of future data.

■ Keyword : Energy Moniotring, Energy consumption prediction, Energy Management System, Machine Learning Model

2021년 07월 23일 접수; 2021년 08월 13일 수정본 접수; 2021년 08월 19일 게재 확정.

\* 본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 대학ICT연구센터육성지원사업(IITP-2021-2017-0-01630)과 한국연구재단의 지원(NRF-2019R1F1A1057663)으로 수행된 연구임

† 교신저자 (keylee@gachon.ac.kr)

## I. 서론

정부에서 시행중인 대한민국 2050 탄소중립 전략[1]에 따르면, 우리나라는 2017년 기준 에너지의 94%를 수입에 의존하는 자원 빈국이지만 세계에서 9번째로 많은 에너지를 사용하고 있는 에너지 다소비 국가이다. 또한 전기 에너지에 대한 사용량 및 의존도가 매우 높고, 총 에너지 사용의 20% 이상은 건물에서 소비된다. 국내외에서 다양한 탄소 중립 관련 정책을 시행하고 있으며, 대한민국 역시 2030년 국가 온실가스 감축목표를 2017년 대비 24.4% 감축을 목표로 하고 있다[2].

딥러닝과 머신러닝에 대한 연구가 활발해지면서 다양한 알고리즘을 에너지 효율 분야에 적용하려는 연구가 진행되고 있으며, 에너지의 효율적인 관리를 위한 건물에너지관리시스템(BEMS)의 도입이 늘어가는 추세이다[3]. 보다 효율적이고 지능적인 모델과 에너지 효율 부문의 결합은 에너지 절약 목표를 달성하기 위해 여러 방식으로 개발되고, 적용될 것이다.

본 논문에서는 스마트플러그를 전자기기와 직접적으로 연결하여 수집한 가구당 기기별 에너지 사용량을 바탕으로 데이터베이스를 구축하였다. 구축된 데이터베이스는 약 100가지의 전자기기를 1시간 단위로 수집한 1048576개의 행으로 구성되어있다. 또한 RNN과 LSTM 모델을 이용하여 수집한 데이터를 효과적으로 분석 및 예측하는 알고리즘을 구현하였다. RNN과 LSTM으로 구현된 딥러닝 모델을 이용하여 미래 데이터를 예측하는 모델의 정확도를 비교하고, 각 모델이 가지고 있는 특성에 대해 분석한다.

## II. 관련연구

### 2.1 RNN 모델

RNN 기반의 에너지 수요 예측 관련 선행 연구로는 “RNN based Energy Demand Prediction for Smart-Home in Smart-Grid Framework”가 있으며, 이는 RNN 기반의 스마트 홈 에너지 예측 모델을 구성하고 사용자에게 에너지 예측과 편리한 관리가 가능하게 하는 접근법을 설계하였다[4].

### 2.2 LSTM 모델

“Short Term Electrical Energy Consumption Forecasting using RNN-LSTM”에서는 LSTM 모델을 이용하여 일일 전력 소비량 시계열 데이터를 분석하였고, 이를 기반으로 전기 부하 예측을 처리하는 알고리즘을 구현하였다[5].

“Toward efficient energy systems based on natural gas consumption prediction with LSTM Recurrent Neural Networks”에서는 에너지 자원의 효과적인 관리를 위해 LSTM 모델을 포함한 다양한 예측 모델을 구성하고 MAPE, MAE, RMSE를 사용하여 그 정확도를 비교하였다[6].

### 2.3 에너지 사용량 예측

머신러닝 기법을 활용한 에너지 사용량 예측 관련 선행 연구로는 “머신러닝 기법을 활용한 공장 에너지 사용량 데이터 분석”이 있으며, 이는 머신러닝 기법을 활용하여 에너지 사용량에 대한 데이터 분석 및 패턴 추출에 관한 전반적인 과정을 설계하였다. 또한 전력 소비 패턴을 활용하여 전력 사용량과 주중, 주말, 요일에 따른 상관관계를 분석하여 전력 데이터를 효율적으로 활용할 수 있는 방안을 제시하였다[7].

“LSTM 신경망을 이용한 월 단위 전력 사용

량 예측 기법”에서는 LSTM 신경망을 사용하여 월별 전라북도 전력 사용량 예측모델 알고리즘을 구현하였다. LSTM으로 구현된 모델은 평균 기온과 세대수, 전력 사용량 등으로 구성된 데이터를 학습하고 이를 기반으로 데이터를 예측하였다 [8].

“LSTM 기반의 단계적 분해 방법을 이용한 단기 전력 사용량 예측”에서는 익일 시간대별 전력 사용량, 최근 1주일의 수요 분포, 기간 및 온도 기준 수요 분포 등을 기준으로 하루 및 시간 단위 분해 방법론을 제시하였다. 이후 LSTM 모형을 구현하여 각 전력 수요 예측 모형의 정확도를 측정된 결과, 시간 단위보다 하루 단위의 전력수요 예측 모형의 정확도가 더 높음을 확인하였다. 뿐만 아니라 월별, 계절별 전력 사용량의 분포를 통해 계절적 특성으로 나타날 수 있는 예측 오차와 이의 개선 방안을 제시하였다[9].

### III. 에너지 사용량 예측 프로세스

#### 3.1 데이터

효과적인 딥러닝 모델의 학습을 위해 스마트 플러그를 이용하여 직접 수집한 기기별 전력 사용량 데이터를 바탕으로 데이터베이스를 구성하였으며, 구성된 스키마는 <표1>과 같다. 스마트플러그는 기기의 고유번호와 사용자가 직접 설정한 전자기기의 명칭, 속해있는 그룹을 기반으로 각 전자기기의 전력 사용량과 사용 일자 및 시간 데이터를 수집하여 데이터베이스에 저장한다.

구성된 전체 데이터베이스는 약 100가지의 전자기기를 1시간 단위로 수집한 데이터로 이루어져있으며, 총 수집기간은 2020년 5월부터 2021년 7월로, 1048576개의 행으로 구성되어 있다.

<표 1> 데이터베이스 스키마 구성

스키마 이름	스키마 설명
DEV_ID	기기 고유번호
DEV_NM	사용자 설정이름
DEV_GR	그룹별 플러그 정렬
KWH	전력 사용량
EDT_DT	사용 일자 및 시간

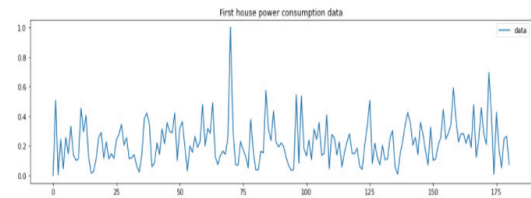
데이터베이스를 구성하는 여러 전자기기를 ‘DEV\_GR’ 스키마를 이용하여 ‘집 1’, ‘집 2’, ‘사무실’ 등의 그룹으로 구분·정렬하였다.

본 논문에서는 ‘집 1’에 대한 데이터 분석 및 예측 과정을 진행한다.

#### 3.2 데이터 전처리

일자별 데이터 총 사용량을 나타내기 위하여 ‘집 1’에 연동되어있는 전자기기의 24시간 사용량을 모두 합산한 새로운 테이블을 생성한다.

Min-Max Scaling을 통해 ‘집 1’에 연동되어있는 전자기기의 전력 사용량 총합 데이터를 최댓값이 1.0, 최솟값이 0.0으로 나타나도록 정규화를 해준다.



<그림 1> 정규화 된 데이터

그림 1에서 데이터 수집기간 내의 ‘집 1’에 연동되어있는 전자기기의 총 사용량에 대한 정규화 된 데이터를 일자별로 확인할 수 있다.

### 3.3 모델 설계

본 프로젝트에서는 시계열 데이터 처리에 적합한 RNN과 LSTM을 사용하여 전력 사용량 예측 딥러닝 모델을 구현한 후, 각 모델의 정확도를 비교하였다.

데이터 수집기간(2020년 5월부터 2021년 7월) 중, 2021년 1월부터 2021년 6월까지의 데이터를 훈련 세트에 사용하였으며, 이를 기반으로 2021년 6월부터의 전력 사용량을 예측 후 예측 값과 실제 값을 비교하였다. 약 100가지의 전자기기를 1시간 단위로 수집한 데이터 중 RNN과 LSTM 모델 학습 및 예측에 사용한 ‘집 1’에 해당하는 전자기기는 30개로 구성되어있다. 각 모델 모두 10번의 에폭을 거쳐 학습을 시켜주었다.

#### 3.3.1 RNN 모델

구현한 RNN 모델은 그림 2와 같은 예측 그래프를 보여주었다. 예측된 값은 실제 값에 가깝다는 것을 확인할 수 있으며, 이는 좋은 성능을 발휘하고 있음을 의미한다. 하지만 RNN 모델은 예측 기간이 길어질수록 예측 정확도가 조금 낮아지는 모습을 볼 수 있다.



〈그림 2〉 RNN 모델과 에너지 예측 그래프

#### 3.3.2 LSTM 모델

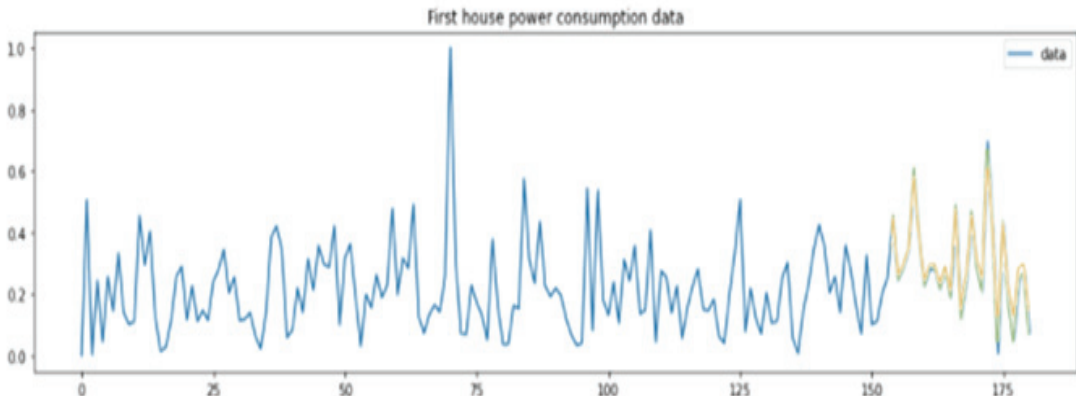
구현한 LSTM 모델은 그림 3과 같은 예측 그래프를 보여주었다. LSTM 모델 역시 예측된 값이 실제 값과 가까운 것을 확인할 수 있다. LSTM 모델은 시간이 지날수록 RNN 모델에 비해 예측 정확도가 향상되는 모습을 확인할 수 있다.



〈그림 3〉 LSTM 모델과 에너지 예측 그래프

## IV. 모델 비교

앞서 구현한 두 모델의 에너지 예측 그래프를 한 그래프로 나타내면 아래 그림 4와 같다.



〈그림 4〉 RNN - LSTM 모델과 에너지 예측 그래프

그림 4에서는 RNN, LSTM 모델의 예측 값과 실제 전력 사용량을 그래프에서 확인해볼 수 있다. RNN 모델은 예측 기간이 길어질수록 예측 정확도가 미세하게 떨어지지만, LSTM 모델은 초반 정확도가 조금 떨어지고 이후에는 RNN 모델보다 좋은 성능을 내는 것을 확인할 수 있었다.

구현한 모델의 정확도를 비교하기 위하여 R2 Score를 사용하였다. 이때 R2 Score는 결정계수를 의미하며, 구현된 모델이 데이터에 얼마나 적합한지 확인할 수 있는 지표이다. RNN 모델은 0.936, LSTM 모델은 0.952의 R2 Score를 보였다.

## V. 결론

본 연구에서는 스마트플러그로 측정된 전기 에너지 사용량 데이터를 이용하여 데이터베이스를 구성하고, 미래의 전력 사용량을 예측하는 딥러닝 모델을 구현하였다. RNN과 LSTM 모델로 구현된 모델의 R2 Score는 각 0.936, 0.952로 LSTM의 성능이 미세하게 더 좋은 것을 확인할 수 있었다.

하지만 전력 사용량은 용도, 사용 시간대, 계절 등에 큰 영향을 받는다. 이런 관계성을 이해하고 더 효과적인 모델을 구현하고자 향후 이 연구를 바탕으로 “시간별, 계절별 전력 소비 패턴에 따른 에너지 사용량 분석 알고리즘”을 구현하고자 한다. 이는 에너지 효율 개선에 도움이 될 수 있으며, 개개인별 전력 소비 패턴에 맞춤형으로 에너지 절약 솔루션을 제공할 수 있을 것으로 기대된다. 이를 확장하여 전력 수요 이전 서비스 등을 지원할 수 있으며, 에너지 사용량 분석과 미래 데이터의 예측을 통해 효과적인 전력 사용량 관리에 도움을 줄 것이다.

또한 본 논문에서 사용한 예측 값과 실제 값 비교 이외에도 존재하는 여러 정확도 평가 지표

들을 활용한 모델의 추가적인 정확도 측정, 다양한 모델 중 에너지 사용량 예측에 적합한 다른 모델과의 비교 등을 통해 모델 별 장단점 분석 및 예측 성능 향상을 기대할 수 있을 것이다.

## 참 고 문 헌

- [1] [https://www.gihoo.or.kr/netzero/download/LEDS\\_REPORT.pdf](https://www.gihoo.or.kr/netzero/download/LEDS_REPORT.pdf)
- [2] <https://www.mofa.go.kr/viewer/skin/doc.html?fn=20201231020449159.hwp&rs=viewer/result/202107>
- [3] Park S, Park S, Choi M-i, Lee S, Lee T, Kim S, Cho K, and Park S. “Reinforcement Learning-Based BEMS Architecture for Energy Usage Optimization.” *Sensors* 20, no. 17: 4918, 2020.
- [4] Munir, M. S., Abedin, S. F., Alam, M. G. R, and Hong, C. S. “Rnn based energy demand prediction for smart-home in smart-grid framework.”, 한국정보과학회 학술발표논문집, 437-439, 2017.
- [5] Yuniarti, E., Nurmaini, N., Suprpto, B. Y, and Rachmatullah, M. N. “Short Term Electrical Energy Consumption Forecasting using RNN-LSTM.” 2019 International Conference on Electrical Engineering and Computer Science (ICECOS). IEEE, 2019.
- [6] Laib, Oussama, Mohamed Tarek Khadir, and Lyudmila Mihaylova. “Toward efficient energy systems based on natural gas consumption prediction with LSTM Recurrent Neural Networks.” *Energy* 177 (2019): 530-542, 2019.
- [7] 성중훈, 조영식. “머신러닝 기법을 활용한 공장 에너지 사용량 데이터 분석”. *정보처리학회논문지. 컴퓨터 및 통신시스템* 8.4: 87-92, 2019
- [8] 조장훈, 방준호, 유정훈, 선로빈, 천현준, 한기람.

“LSTM 신경망을 이용한 월 단위 전력 사용량 예측 기법”, 대한전기학회 학술대회 논문집, 226-227, 2020.

[9] 노윤지, 민대기. “LSTM 기반의 단계적 분해 방법을 이용한 단기 전력 사용량 예측”. 경영과학, 37(1), 75-89, 2020.

## 저자 소개



### 이 주 희(JuHui Lee)

- 2021년 : 가천대학교 컴퓨터공학과 (공학사)
- 2021년~현재 : 가천대학교 컴퓨터공학과 (석사과정)
- 관심분야 : 인공지능, 빅데이터 분석, 자연어처리



### 이 강 윤(KangYoon Lee)

- 1986년 : 연세대학교 전자공학과(공학사)
- 1996년 : 연세대학교 전자계산학과 (공학석사)
- 2010년 : 숭실대학교 IT정책경영(공학박사)
- 2016년~현재 : 가천대학교 컴퓨터공학과 교수
- 관심분야 : 인공지능, IoT, 빅데이터 활용, 솔루션