

## 인공신경망을 활용한 캠퍼스 건물 단기 전력수요예측

**백승준, 윤성국**  
 숭실대학교 전기공학부

### Short-term Load Forecasting for University Campus Building Using Artificial Neural Network

Sung-Jun Beak, Sung-Guk Yoon  
 Soongsil University

**Abstract** - 현대 사회에서는 건물에서 소비되는 에너지가 총 에너지의 큰 부분을 차지하고 있기 때문에 건물에서의 에너지 관리는 매우 중요하다. 전기 에너지 관점에서는 에너지 절감을 위한 기초로서 건물의 수요예측이 중요한 주제이다. 본 논문에서는 과거 진행된 “인공신경망을 이용한 캠퍼스 빌딩 단기 전력수요 예측 알고리즘 연구”를 바탕으로 더 작은 단위의 캠퍼스 건물 하나를 대상으로 전력 수요 예측 모델을 제안한다. 숭실대학교 형남공학관의 1년 전력 사용량을 데이터 셋으로 사용하여 평일에 대해서만 예측을 진행하였다. 시뮬레이션 결과 입력 변수에 따른 정확도의 변화 및 예측 결과가 기존의 연구와 어떤 차이를 갖는지 비교 분석하였다.

#### 1. 서 론

전기 에너지는 현대사회에서 필수불가결한 공공재이다. 전기는 생산과 소비가 동시에 이루어진다는 특징을 가지고 있기에 전력사용량의 예측과 이를 충족시킬 수 있는 공급능력을 갖춰야만 원활한 설비 운용이 가능하다. 현대사회에서 건물에서 사용되는 에너지가 총 에너지 소비의 큰 부분을 차지한다는 점을 고려할 때[1] 건물의 에너지 수요 예측은 매우 중요하다. 우리나라의 경우 전체 에너지 소비량의 24%가 건물에서 사용되고 있고, 건물에서 사용되는 에너지 중 전기 에너지의 비중은 2015년 기준 66.4%를 차지하고 있다[2,3].

각 건물의 전력 사용량은 건물의 종류에 따라 큰 차이를 보인다. 대학교 캠퍼스의 경우 수용인원이 많고, 학기와 방학이 존재해 전력 사용량 패턴이 다른 건물의 패턴과 상이하다. 또한 날씨와 계절 및 기온 등의 영향을 크게 받는 특징을 가지고 있다. 일반적으로 기존의 수요예측의 경우 국내 전체를 대상으로 하거나 시, 도 단위의 큰 영역에서 예측이 이루어지고 있는데, 건물의 특성을 반영한 건물 별 예측이 이루어진다면 지역 단위 수준에서 보다 정확한 수요 예측이 가능할 것으로 예상된다.

과거 진행된 “인공신경망을 이용한 캠퍼스 빌딩 단기 전력수요 예측 알고리즘 연구”에서는 숭실대학교 전체 전력사용량을 바탕으로 인공신경망을 활용한 수요 예측 모델을 제안하였다[3]. 본 논문에서는 위의 논문과 같은 인공신경망 알고리즘을 캠퍼스에 있는 건물 하나에 적용하여 건물의 수요 예측 결과를 도시한다. 전력사용량 데이터의 신뢰도를 높이기 위해 누락된 데이터를 처리하고, 평일과 주말의 전력 사용량 패턴을 분석해 전력사용량이 적은 주말의 데이터를 제거 후 평일 데이터에 인공신경망 모델을 적용하였다. 또한 적절한 입력변수를 선정 후 기계 학습을 진행해 예측일의 24시간 시간대별 전력 사용량을 구하였다. 최종적으로 입력 시 사용되는 날짜에 따른 정확도 및 기온 데이터에 따른 예측의 정확도를 비교 평가한다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 인공신경망

인공신경망(Artificial Neural Network)은 인간의 두뇌를 모사하여, 다양한 데이터로 기계 학습시키기 위해 고안된 알고리즘이다. 인체의 신경세포는 자극을 받아 자극의 크기가 역치 이상이 되면 뉴런이 활성화되어 다음 신경세포로 자극을 전달한다. 인공신경망은 인체의 신경세포의 원리를 이용해 입력을 받아 각 유닛과 연결된 가중치를 곱한 합을 구하고 역치 이상이 되면 활성화 함수에 의해 출력을 구한다. 일반적인 활성화 함수에는 계단 함수, 시그모이드 함수, 선형 함수가 있다.

퍼셉트론은 뉴런을 모방한 구조 단위로 인공신경망을 구성한다. 단층 퍼셉트론은 간단한 형태의 인공신경망으로 입력 벡터를 두 가지로 분류하는 선형 분류기로 선형적인 분류만 가능하다는 단점을 가지고 있어 전력량 같은 비선형적 데이터의 학습 모델로는 적합하지 않다. 따라서 비선형 문제를 해결할 수 있는 다층 퍼셉트론(Multi-Layer Perceptron)을 사용해야 한다. 다층 퍼셉트론은 단층 퍼셉트론에 은닉층을 추가해 입력값이 은닉층으로 전달되고 은닉층의 값이 출력층으로 전달된다. 모

델의 학습은 역전파 알고리즘을 이용하여 최종적으로 계산된 출력층의 값과 학습 벡터의 목표값을 비교, 오차가 크면 가중치를 학습 규칙에 따라 적절한 값에 도달할 때까지 조정해 예측의 정확도를 높인다. 은닉층의 뉴런들의 출력값은 아래의 식(1)에 의해 결정된다.

$$y = \Psi\left(\sum_{k=1}^n w_k x_k + b\right) \quad (1)$$

$x$ 는 각 뉴런의 입력,  $w$ 는 각 뉴런의 가중치,  $b$ 는 바이어스를 나타낸다.  $\Psi$ 는 활성화 함수를 나타내는데 주로 시그모이드 함수가 사용된다.

식(1)에 의해 계산된 출력값은 역전파 알고리즘을 통해 가중치가 조정되는데 식(2-1)와 같이 정의한다.

$$E(w) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |y(x_i, w) - t_i|^2 \quad (2-1)$$

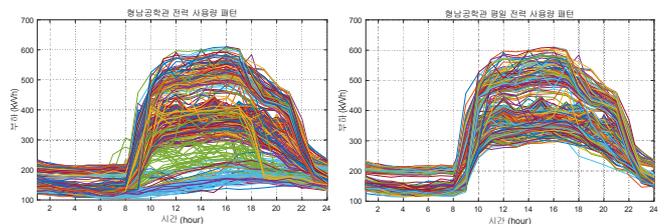
역전파 알고리즘은 식(2-2)와 같이 경사하강법으로 오차를 감소시키는 방향으로 가중치를 조정한다.

$$w(t+1) = w(t) - \eta \frac{dE}{dw} \quad (2-2)$$

인공신경망을 통한 전력수요 예측은 1990년대부터 활발히 이용되고 있고 많은 논문에서 활용되고 있다.[4][5] 최근 컴퓨터 파워의 증가와 대량의 데이터의 활용할 수 있는 저장 능력의 증가로 인공지능망 기법은 이미지 처리, 음성 인식 등 다양한 분야에서 이용되고 있다.

##### 2.2.1 데이터 구성 및 전력 사용량 패턴 분석

본 연구에서 사용되는 전력량 데이터는 전력이 공급되는 형남공학관 지하에 측정기를 설치해 건물 전체에서 사용되는 전력 소비량을 획득하였다. 측정된 전력량 데이터는 통신문제 등으로 인해 누락된 부분이 존재하는데 이 경우 각 공휴일과 주말을 제외한 전날 3일 데이터를 입력으로 한 예측 값을 실측이라 가정하여 사용하였다.



〈그림 1〉 1년 전력 사용량 패턴

〈그림 2〉 평일 전력 사용량 패턴

숭실대학교 형남공학관의 2015년 8월부터 2016년 7월까지의 1년간 전력 사용량 패턴을 그림 1에서 보여준다. 그림 2는 해당 기간 중 평일에 대한 사용량만을 보여준다. 그림 1과 그림 2에서 평일과 주말의 전력 사용량 패턴은 큰 차이를 보임을 확인할 수 있다. 따라서 주말과 공휴일 전력 사용량 데이터를 제외한 평일 데이터만을 추출해서 인공신경망 모델의 입력 데이터로 사용한다.

평일의 전력 사용량 패턴을 보면 일반적으로 수업이 시작하는 8시~9시를 기점으로 전력 사용량이 급격히 상승하고 점차 증가하다가 평균적으로 14시~16시 사이에 최대치를 나타낸다. 대부분의 수업이 끝나는 오후 6시 부터는 점차 전력 사용량이 감소하고 새벽에는 전력의 사용량이 거의 변하지 않는다. 추가적으로 평일 전력 사용량 패턴은 계절적 특성에 따라 다른 패턴을 나타낸다. 겨울의 경우 여름 보다 새벽의 전력 사용량이 더 크고, 여름의 경우 냉방 기기의 사용으로 주간 전력 사용량이 겨울보다 크다.

### 2.2.2 형남공학관 평일의 전력 수요 예측 모델

예측 모델은 예측일을 기준으로 전날의 전력사용량 데이터를 입력으로 사용한다. 인공신경망의 학습은 최소 3일에서 최대 9일을 학습한 후 예측을 실시한다. 학습 시 예측의 오버피팅을 막기 위해 200번 반복 학습 하였으며, 은닉층의 뉴런 수는 선행 연구에서 높은 효율을 낸다고 제시한 7개의 뉴런을 사용하였다.[4] 입력 파라미터로는 24시간 전력량 데이터와 난방 및 냉방설비의 전기 사용량의 특징을 반영할 수 있도록 학교가 위치하고 있는 동작구의 평균, 최고, 최저 기온 데이터를 사용하였다. 예측의 성능평가는 식(3)의 MAPE(Mean Absolute Percentage Error)를 사용해 정확도를 오차의 백분율로 표시한다.

$$MAPE = \frac{100}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{A_t - F_t}{A_t} \right| \quad (3)$$

위 수식에서  $A_t$ 는 실제값,  $F_t$ 는 예측값을 뜻한다.

### 2.3 결과 분석

예측 모델의 결과 분석은 과거 송실대 전체를 대상으로 한 진행된 연구와 차이를 기술하였다. 송실대 전체의 평일 전력 사용량 패턴은 형남공학관의 전력 사용량 보다 약 100배 정도 크고, 낮 12시까지 전력수요가 점차 증가하다가 그 이후로 감소하는 패턴을 갖는다.

<표 1> 학습 기간에 따른 평일 예측 결과 (단위 %)

	최근3일	최근4일	최근5일	최근6일	최근7일	최근8일	최근9일
송실대 학교	4.758	4.309	4.375	4.095	3.892	4.085	4.171
형남공학관	8.952	9.345	9.655	10.25	11.53	13.23	14.97

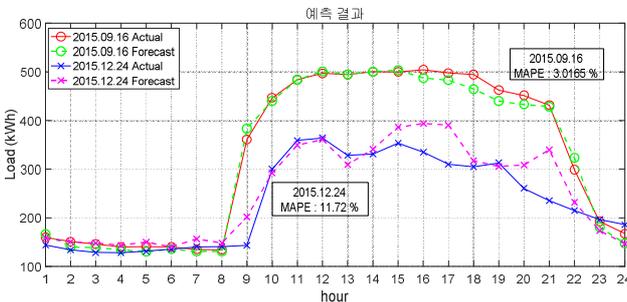
표 1. 는 사전 연구와 본 연구의 학습 기간별 예측 값의 연간 MAPE 평균을 나타낸 것이다. 형남공학관을 대상으로 한 본 연구에서는 최근 3일을 학습시켰을 때의 결과가 가장 좋게 나왔으며, 학습 기간이 길어질수록 MAPE가 상승한다. 반면 송실대 학교 전체에 대한 과거 연구에서는 최근 7일을 학습시킬 때 결과가 가장 좋았다.[3] 대학교 전체보다 건물 하나를 측정했을 때 전체적인 MAPE 값이 커진 이유는 측정 단위가 작을수록 부하 패턴의 변동이 크기 때문이다.

<표 2> 입력 파라미터에 따른 MAPE와 개선도 (단위 %)

날짜	전력사용량	전력 + 날씨	개선도	
2015.10.15.	가을	4.89	2.31	52.76
2016.01.22.	겨울	7.66	5.49	28.33
2016.05.16.	봄	7.23	6.82	1.936
2016.07.27.	여름	4.51	3.94	12.64

표 2. 는 입력 파라미터에 따른 예측의 개선을 나타낸다. 전력사용량만을 사용한 모델은 24시간의 시간대별 전력사용량 데이터만을 입력으로 사용했고, 두 번째는 전력사용량에 동작구의 평균, 최고, 최저 기온의 정보를 추가한 모델이다. 날짜의 선정은 학기가 시작되는 날짜와 사계절 중 각 계절에 해당되는 날짜를 무작위로 선정하였다. 오차의 정도는 각 날짜별 예측을 10번 시행한 결과의 MAPE 값 평균으로 나타냈다.

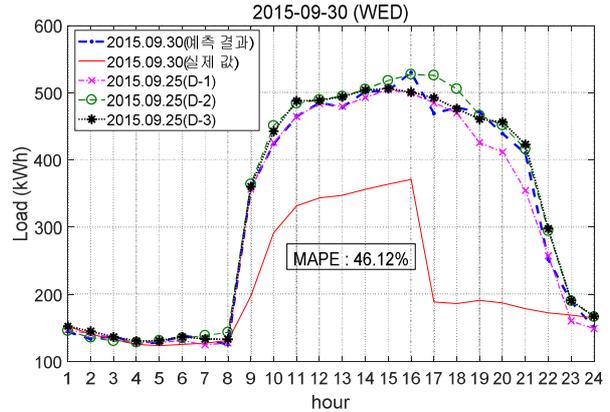
예측 결과 날씨 모델을 적용했을 때 기존 모델보다 예측의 정확도가 향상되는 것을 확인하였다. 그 이유는 대학교 건물의 경우 기온 변화에 따른 난방 부하의 사용이 많아지는데, 기존 데이터가 대학교 건물의 특성 반영에 큰 기여를 했기 때문이다.



<그림 3> 과거 연구와 예측 결과 비교

그림 3은 2015년 9월 16일과 2015년 12월 24일의 예측 결과와 실제 예측일의 사용량을 나타낸다. 위 예측일의 선정은 이전 연구 논문에서 선정된 날짜와 예측의 오차를 비교하기 위해 같은 날짜를 선정하였다.[3]

예측 결과, 이전 연구 논문에서는 2015년 9월 16일과 12월 24일의 MAPE가 각각 1.744%, 2.6935% 가 나오는데 반해 형남공학관을 대상으로 한 예측은 3.0165%, 11.72%로 오차가 증가함을 볼 수 있다. 앞서 언급한 것과 같이 오차가 커진 이유로는 송실대학교 전체를 학습 데이터로 사용한 경우보다 형남공학관 건물 한 개를 볼 때 전력 사용량의 크기 차이가 커서 전력 사용량의 변동 폭이 큰 점을 들 수 있다.



<그림 4> 2015.09.30. 공휴일의 영향으로 인한 예측 오차

평일 예측 시 공휴일이 학습 기간에 포함되어 있으면 예측의 오차가 매우 크게 나오는 것을 확인하였다. 그림 4는 추석이 끝난 2015년 9월 30일의 예측 결과와 학습 기간 및 예측일의 24 시간 전력 사용량을 나타낸다. 위 결과 측정결과 공휴일의 영향으로 오차가 매우 크게 나온다. 이 날짜는 전체 기간 중 오차가 제일 큰 날에 속한다. 오차가 크게 발생 한 이유는 예측일인 9월 30일은 추석 연휴로 인해 전력 사용량이 낮는데, 학습 시 공휴일과 주말로 데이터가 제외되어 예측일 기준 5~8일 전 전력 사용량이 높은 평일 데이터를 사용하기 때문이다. 이러한 공휴일의 영향은 예측의 신뢰도를 크게 떨어뜨리기 때문에 공휴일의 전력 사용량 예측을 위한 새로운 알고리즘 및 학습 데이터 구성이 필요하다.

### 3. 결 론

본 논문에서는 송실대학교의 형남공학관의 24시간 단위의 1년 전력 사용량 데이터를 대상으로 다층 인공신경망을 활용한 단기 전력 수요 예측 모델을 제안하였다. 평일과 주말 전력 사용량 패턴을 분석해 주말을 제외한 평일에만 예측 모델을 적용했고 입력 파라미터로 24시간 전력 사용량 데이터와 기온 데이터를 사용해 모델을 설계하였다. 실험 전 학습 기간에 따른 MAPE 변화를 통해 적절한 학습 날짜를 선정했고, 입력 파라미터에 따른 예측 정확도 향상을 보기 위해 24시간 전력량 데이터만 입력한 모델과 전력사용량과 기온 데이터를 추가한 모델 두 가지의 예측을 진행하였다. 예상한바와 같이 날씨 정보를 추가한 모델이 더 좋은 예측 성능을 나타냄을 확인하였다.

후속 연구로서 전력 사용량 예측의 정확도를 향상시키기 위하여 방학, 공휴일의 영향을 반영할 수 있는 추가적인 입력 파라미터를 선정할 계획이고, 클러스터링 기법을 유사한 과거일을 자동으로 분류하는 기법을 적용해볼 계획이다.[5]

#### 감사의 글

본 논문은 2015년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임.  
(No. NRF-2015R1C1A1A02037774)

#### [참 고 문 헌]

- [1] 미국 DoE, "Buildings Energy Data Book", 2012. 3
- [2] 박완기, 정연태, 이일우 '고효율 건물에너지관리 기술 동향', 전자통신동향분석 제 26권 제 6호, 2011. 12
- [3] 강석구, "인공신경망을 이용한 캠퍼스 빌딩 단기 전력수요 예측 알고리즘 연구", 송실대학교 대학원, 2016. 12
- [4] 문지훈, 전상훈, 박진웅, 최영환, 황인준 "인공신경망과 지지 벡터 회귀분석을 이용한 대학 캠퍼스 건물의 전력 사용량 예측 기법", 정보처리학회논문지 : 컴퓨터 및 통신시스템, 제5권, 제10호, 293-302, 2016. 10
- [5] Hernandez L, Baladron C, Aguiar JM, Carro B, Sanchez A, Lloret J. "Short-term Load forecasting for microgrids based on artificial neural networks", Energies, 6 (3), 2013, pp.1385-1408