ARTICLE

건물의 단기부하 예측을 위한 기상예측 모델 개발

전병기* · 이경호** · 김의종***†

*인하대학교 대학원 건축공학과
**한국에너지기술연구원
***인하대학교 건축공학과

Development of Weather Forecast Models for a Short-term Building Load Prediction

Jeon Byung-Ki* · Lee Kyung-Ho** · Kim Eui-Jong***†

*Department of Architectural Engineering, Graduate school, Inha University
**Department of Solar Thermal Convergence Lab, Korea Institute of Energy Research
***Department of Architectural Engineering, Inha University

†Corresponding author: ejkim@inha.ac.kr

Abstract

In this work, we propose weather prediction models to estimate hourly outdoor temperatures and solar irradiance in the next day using forecasting information. Hourly weather data predicted by the proposed models are useful for setting system operating strategies for the next day. The outside temperature prediction model considers 3-hourly temperatures forecasted by Korea Meteorological Administration. Hourly data are obtained by a simple interpolation scheme. The solar irradiance prediction is achieved by constructing a dataset with the observed cloudiness and correspondent solar irradiance during the last two weeks and then by matching the forecasted cloud factor for the next day with the solar irradiance values in the dataset. To verify the usefulness of the weather prediction models in predicting a short-term building load, the predicted data are inputted to a TRNSYS building model, and results are compared with a reference case. Results show that the test case can meet the acceptance error level defined by the ASHRAE guideline showing 8.8% in CVRMSE in spite of some inaccurate predictions for hourly weather data.

Keywords: 기상예측(weather Predict), 건물 부하(Building Load), 기상데이터(Weather Data)

기호설명

T : 외기 온도(℃)

A : 일평균 외기 온도(℃)

a : 온도 수정 계수

C : 오차 보정 계수

HC : 청명 일사량(kWh/m^2 /day)

n : 1일 일조시간

OPEN ACCESS

Journal of the Korean Solar Energy Society
Vol.38, No.1, pp.1-11, February 2018
https://doi.org/10.7836/kses.2018.38.1.001

pISSN : 1598-6411

eISSN : 2508-3562

Received: 14 September 2017

Revised: 30 November 2017

Accepted: 12 February 2018

Copyright © Korean Solar Energy Society

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution NonCommercial License which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

N : 1일 가조시간

V : 풍속

RH : 상대습도

K : 운량

$time$: 발생시간

ρ : 밀도[kg/m^3]

상첨자

d : 예측 일

하첨자

t : 대상 시간(1~24 h)

1. 서 론

1.1 연구 배경

국제 에너지 기구(IEA)[1]에서는 건물의 열원 및 공조시스템에서의 최적제어를 통해 에너지 효율을 높일 수 있다는 연구결과를 제시하였으며, 국내에서도 Hwang and Ahn[2] 등 시스템 운영효율을 극대화하여 에너지 절감 효과를 제시하는 등 시스템 제어를 통한 효율 개선 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히, 공조기의 효율적인 운전 계획을 수립하여 선행적으로 시스템을 운전하는 예측제어에 대한 관심은 커져가고 있다. 하루 단위의 단기간 예측 제어를 위해서는 다음날 건물의 에너지 요구량 예측이 필요하며, 이를 위해 건물 에너지 요구량에 영향을 주는 주요 인자인 기상데이터의 예측이 필수적이다. 이에 따라 외기온도와 일사량을 통계학적인 방법을 통해 예측하는 모델이 여러 형태로 제안되었으나, 해당 모델들의 입력데이터는 기상청 예보를 통해 얻을 수 없어 기상예측 모델 자체의 성능은 뛰어나나 건물 부하 모델에 적용하기 위한 데이터를 제공하기에는 어려움이 따른다. 따라서 시스템 운영 계획 및 최적제어를 위해서는 기상예보 기반의 실시간 기상예측모델 개발이 필요한 실정이다.

1.2 기상예보를 활용한 단순 기상예측 모델의 필요성

건물분야에서 설비 시스템의 운전계획 수립 및 제어를 하는 모델의 경우 다음날의 예측 기상데이터가 매우 중요하다. 건물의 운전계획은 보통 시간별로 이루어지며, 이는 하루 전 다음 날의 시간별 기상데이터를 제공해야 함을 의미한다. Fig. 1은 기상청 웹사이트에서 제공하는 인천지역 시간별 예보 탭의 기상 예보 화면이며, 기

상예보는 하루 전 23시를 기준으로 다음날 3시간 단위 기상정보를 제공하고 있다. 외기온도와 운량 역시 3시간 단위로만 확인이 가능하며, 여기서 운량의 범위는 맑음, 구름 조금, 흐림, 매우 흐림 등 총 4가지 카테고리로 한정된다. 앞서 언급했듯이 시스템의 제어를 목적으로 한 기상 데이터는 한 시간 단위로 제공되어야 함으로 시간별 기상데이터를 얻기 위해서는 예보 데이터를 활용한 기상예측 모델이 필요하다.

Fig. 1 Forecasted outside temperatures and sky covers

Table 1은 기존에 제안된 기상예측 모델들의 입출력 값과 본 연구의 목적인 기상예보 정보 활용의 효용성을 표시한 결과이다. 외기온도 예측 모델의 경우 Shaheen and Ahmed[3] 모델이 주로 사용되는데 이 모델은 과거 측정데이터를 기반으로 한 온도 수정계수와 기상예보를 사용하는 단순하면서도 안정적인 정확도를 얻는 모델로써 사용자가 예측모델을 해당 지역에 맞게 수정하는 방식으로 널리 사용되고 있다. 우리나라에서도 Han and Youn[4]은 Shaheen and Ahmed 모델을 서울의 기후에 맞게 수정한 온도 예측 모델을 제안하였는데 국지성 강우가 내려 급격히 외기온도가 하강한 날을 제외하고는 전반적으로 우수한 외기온도 예측 성능을 보였다. 다만 제안된 모델은 EMS (Energy Management System)로부터 실시간으로 측정된 외기온도 정보를 통해 오차와 온도를 보정하기 때문에 실시간 최적운전에는 유리하지만 하루 전에 시스템의 운전계획을 세우기에는 어려움이 따른다. Kawashima[5]와 Han and Lee[6] 모델은 해당 지역에서 수집된 과거 측정데이터를 통계적인 방법으로 온도 수정계수를 계산하였으나 이는 측정데이터가 부족하거나 해당지역에서 수집한 데이터가 없을 경우 사용하기 어렵다는 단점이 있다. 또한 DOE-2 프로그램[7]에서는 최저, 최고 온도만으로 시간별 외기온도를 예측 할 수 있는 3개의 외기온도예측 함수식을 제공하지만 해당 식은 최저, 최고온도의 발생시간을 입력 값으로 하는데 우리나라 기상청에서는 해당 지역의 일간 최고(최저)온도를 예보에 포함하긴 하나 해당 시간대에 대한 정보를 제공하진 않는다. 또한 3시간 단위 예보 역시 최고온도의 발생시간대를 추론할 수는 있으나 해당 시점을 정확히 예

측하긴 어렵다. Table 1에서 알 수 있듯이 기존의 외기온도 예측모델의 입력 인자들은 예보만으로는 얻기가 힘들어 현장 적용성에 대한 고려가 요구된다. 기상예보에서 제공하는 정보만으로 외기온을 예측한 사례는 Kwak et al.[8]의 연구를 들 수 있다. 해당 연구는 웹기반 기상 데이터를 기반으로 에너지 수요를 예측하는 일련의 과정을 가상 테스트 베드(VTB)를 통해 구현하는 연구를 진행하였으며 VTB 적용을 위해 웹상의 언어 변환에 초점을 맞춰져 있다. 본 연구에서 제안하고자 하는 외기온 예측 방식과 매우 유사하나 건물 부하의 주된 입력 값인 일사예측에 대한 내용은 다루고 있지 않다.

일사예측 모델은 해당지역의 일조율과 운량 등 관련 기상자료를 이용하는 방법이 널리 사용되고 있다. Jo et al.[9]에 따르면 1992년 초기에는 Angstrom에 의해 일조율과 청명일사량 및 지역별 경험적 상수를 통해 일사량을 예측하는 모델이 제안되었으나, 당시 청명일이라는 개념이 명확하지 않아 예측모델로서의 적용성의 어려움을 제시하며 개선의 필요성을 강조하였다. Jo et al.은 Angstrom모델을 개선해 해당지역의 일조시간과 일출시간 운량을 이용해 수평면 전일사량을 종속변수로 하여 월평균 일사량을 계산하고 이로부터 일평균 일사량을 평균적으로 계산하였다. 제안된 모델은 일별 얻을 수 있는 일사의 총량을 높은 신뢰 수준으로 예측했으나 하루 중 시간별 일사량을 예측할 수 없는 모델로 제어시스템에 적용하기는 어려움이 따른다.

Table 1 Input data and applicability of weather data prediction models

Outdoor air temperature prediction models					
Authors	Input data				Applicability
Han and Lee	$T_{max/min}$	a_t	-		×
Kawashima	$T_{max/min}$	a_t	-		×
Shaheen and Ahmed	$T_{max/min}$	a_t	C_{123}		×
Han and Lee	$T_{max/min}$	a_t	-		×
DOE-2	$T_{max/min}$	$Ttime_{max/min}$	-		×
Solar irradiance rrediction models					
Authors	Input Data				×
Angstrom	K	HC	n/N	-	×
Jo et al.	K	RH	T	-	×
Zhang and Hwang	K	RH	V	T	×

선행연구에서 살펴보았듯이 현재 사용되는 외기온도 및 일사량 예측 모델은 다양한 기상데이터가 보장되었을 경우 높은 예측성능을 보였으나 청명계수 등 현재 기상 예보가 제공하지 못하는 입력 값을 포함하고 있어 운전계획용 기상예측 모델에 적용하기는 어렵다. 이에 본 연구에서는 기상청에서 제공하는 예보를 활용해 쉽게 다음날 시간대별 외기온도와 일사량을 예측하는 방법을 제안하고, 시간별 기상데이터 예측 자체의 성능보다는 대상 건물의 부하 예측 오차를 통해 시스템 운전 계획 및 제어용으로써의 적합성을 판단하고자 한다.

2. 기상예측 모델 개발

2.1 외기온도 예측 모델

앞서 언급했듯이 우리나라 다음날 기상 예보 범위는 기상청을 기준으로 해당 지역의 최고, 최저, 3시간 간격 외기 온도에 한정되기 때문에 예보만으로 다음날 시간별 외기온도를 도출하기엔 어려움이 따른다. 다만, Fig. 2는 겨울철 임의의 특정일을 선정해 하루 중 외기 온도 변화 패턴을 시간별로 묘사한 그래프로 그림에서 알 수 있듯이 기상 예보 범위인 3시간 간격 내에서 1시간 단위 외기온도는 변동 편차가 크지 않으면서도 대부분의 경우 선형적으로 변화하는 패턴을 보였다. 이에 본 연구에서는 3시간 단위 예보를 수집하고 선형 보간 방법을 통해 사이 값을 예측하는 방법을 제안하였다.

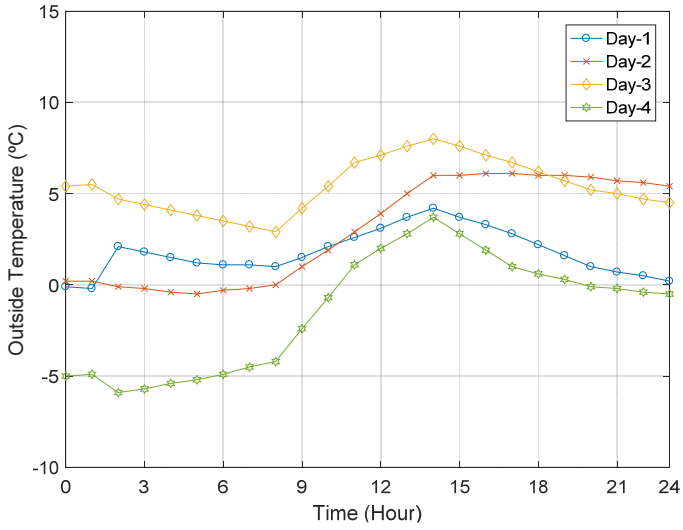


Fig. 2 Outside temperature evolution

2.2 일사 예측 모델

일사 예측은 과거 시간별로 측정된 일사량 데이터를 운량 정보에 따라 구분하고 기상청 운량 예보를 통하여 적절한 과거 데이터를 매칭하는 방법으로 진행하고자 한다. 수평면 전일사량의 경우 비교적 쉽게 데이터를 수집할 수 있으며 측정된 데이터의 정확도가 높기 때문에 예측 대상으로 선정하였다. 운량의 경우 기상예측 모델에서 일반적으로 0부터 10분위 수로 고려되지만 이 같은 분류 방법은 맑음, 구름 조금, 흐림, 매우 흐림 등 4가지 카테고리로 제공되는 기상청 예보정보로는 적용이 어렵다는 단점이 있다. 본 연구의 목적은 제공되는 기상예보 정보만으로도 적용 가능한 기상예측 모델을 개발하는 데 있음으로 운량에 대한 카테고리는 맑음, 구름 조금, 흐림, 매우 흐림 4가지 카테고리를 적용해 분석을 진행하였다.

여기서 활용된 일사량 학습데이터는 과거 2주 동안 누적된 데이터를 사용하였는데, 누락되는 데이터를 최소

화 하려면 많은 양의 누적데이터가 필요하지만 Fig. 3을 통해 확인 할 수 있듯이 태양고도는 최근 1~2주 동안은 기준일 대비 MBE 3.1, 7.9%로 큰 차이를 보이지 않았지만, 기준일로부터 3주 후 태양고도는 MBE 14.1% 오차를 보였기 때문에 예측데이터로 활용하기에는 어려움이 따른다.

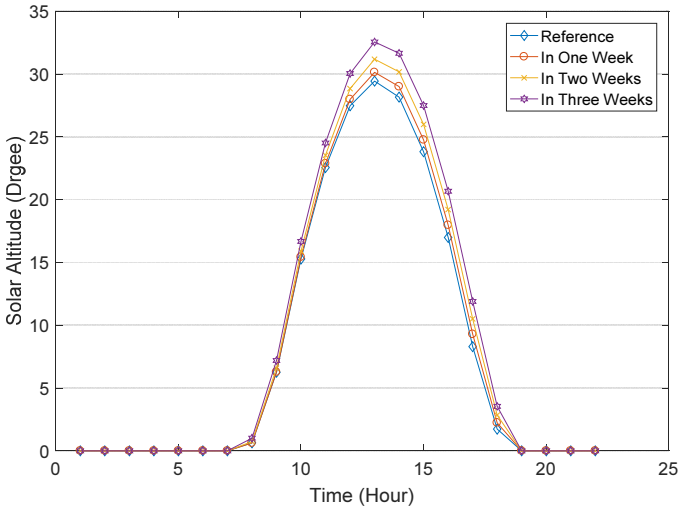


Fig. 3 Solar altitude variation with time

아래 Fig. 4는 제안한 방법을 도식으로 표현한 것으로 첫 단계와 같이 2주 동안 시간단위로 운량과 일사량 정보를 수집 한 후 두 번째 과정처럼 2주간 누적된 데이터를 평균해 하나의 데이터 세트를 생성한다. 이때 특정시간 특정 운량조건에서 누락된 데이터는 시간 경과에 따라 상승 또는 하강하는 일사량에 따라 선형 보간을 통하여 데이터 세트를 형성하는 방법을 채택하였다. 이러한 운량 정보는 부하 계산에 필요한 직산분리 과정에서도 동일하게 적용되어 Jeon et al.[10]이 제안한 방위별 일사량 계산모델의 입력 값으로 적용이 가능하다.

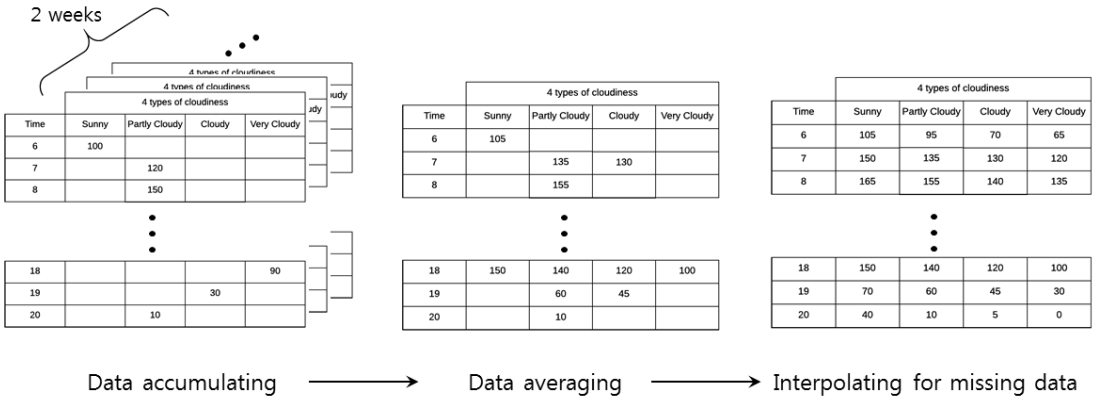


Fig. 4 Solar irradiance prediction algorithm using past two-week measured data

3. 시뮬레이션 결과 및 분석

3.1 시뮬레이션 개요

본 연구에서는 TRNSYS의 표준 기상데이터를 기준 값으로 온도 및 일사 예측 알고리즘을 평가하고자 한다. 실제로 기상청의 예보와 당일 날씨 사이에는 오차가 존재하지만 기상 예측 모델의 성능 평가만을 위해서, 기상청의 예보가 100% 정확하다는 가정 하에 시뮬레이션을 진행하였다. 즉 기상예보의 오차는 본 평가에서 고려하지 않는다. TRNSYS의 다음 날 기상데이터의 최대, 최소, 3시간 단위 온도와 운량정보를 4가지 라벨(맑음, 구름조금, 흐림, 매우 흐림)로 구분하고 이를 기상청 예보로 가정하여 모델을 평가하고자 한다.

예측된 기상데이터를 다시 TRNSYS 부하해석 모델에 적용하여, 예측모델과 측정값을 이용하는 기준모델사이의 부하 차이를 비교하고자 한다. 시뮬레이션에 사용된 기상데이터는 서울지역 TRY 기상 데이터를 사용했으며, 건물 부하는 바닥면적 84 m^2인 우리나라 일반적인 공동주택을 ISO13790[11] 싱글 존 모델링 방법에 따라 단순 모델링하였다. 1월 1일부터 세 달간의 난방 기간에 대해 난방 부하를 계산하였다. 그 외 시뮬레이션 조건은 Table 2, 건물 정보는 Table 3에 정리하였다.

Table 2 Simulation conditions

Weatehr data	Seoul.Try
Ventilation rate (1/h)	0.5 ACH
Set temperature (℃)	22 (heating)

Table 3 Building Information

Floor area	84 m^2
Window (North East)	3.6 m^2, 3.6 m^2, 7.2 m^2
Window (South West)	2.5 m^2, 2.2 m^2

시뮬레이션 결과는 ASHRAE[12]의 건물 에너지 성능 평가 지침 만족 여부로 모델의 적합성을 판단했으며 이는 MBE (±10% 이하)와 CVRMSE (30% 이하) 성능지표를 사용하고 있다. MBE는 측정값에 비해 예측 값의 치우친 정도를 가리키며 결과가 0에 가까울수록 측정값에 근접하는 것을 의미한다. CVRMSE는 분산을 고려해 모델의 오차를 파악하는 오차분석방법으로 결과 값은 오차율(%)로 표현되며, 이는 식 (1)과 (2)를 통해 계산된다. 여기서 하첨자 P는 예측 값, A는 측정 값, v는 측정값의 평균을 의미한다.

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^{n}(E_{P,i} - E_{A,i})}{nE_v} \ [\%] \tag{1}$$

$$CVRMSE = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(E_{P,i} - E_{A,i})^2}{n}}}{E_v} \ [\%] \quad (2)$$

3.2 온도예측 모델 결과

온도 모델 예측 시뮬레이션은 난방부하가 발생하는 1월 1일부터 3월 31일까지 하루단위 온도예측을 3달간 진행하였으며, 그 결과 CVRMSE 7.08% 우수한 수준의 성능을 보이며 ASHRAE 가이드라인을 충족하였다. RMSE는 0.4℃로 입력데이터를 단순화 하였음에도 0.6℃~2.5℃의 오차수준을 보인 Han and Lee 외기온도 예측모델 보다 개선된 성능을 보였다. 온도 예측결과는 Fig. 5에 나타내었으며, 좌측 그래프에서 알 수 있듯이 예측 전구간에서 외기온도 변화를 거의 유사하게 묘사 하였다. 오른쪽 산점도는 점들이 회색 대각선에 분포할수록 예측값이 정확함을 의미하는데 이 역시 대부분의 점이 대각선 근처에 분포하며 우수한 성능을 확인 할 수 있었다. 이는 기상예보만 활용한 단순 예측 모델임에도 높은 정확도를 보였으며, 외기온도 형성에 영향을 미치는 강수량 혹은 적설량 등 추가의 기상정보를 적용한다면 오차는 더 줄어들 것으로 판단되나 이 경우 단순모델의 장점이 사라질 우려가 있다.

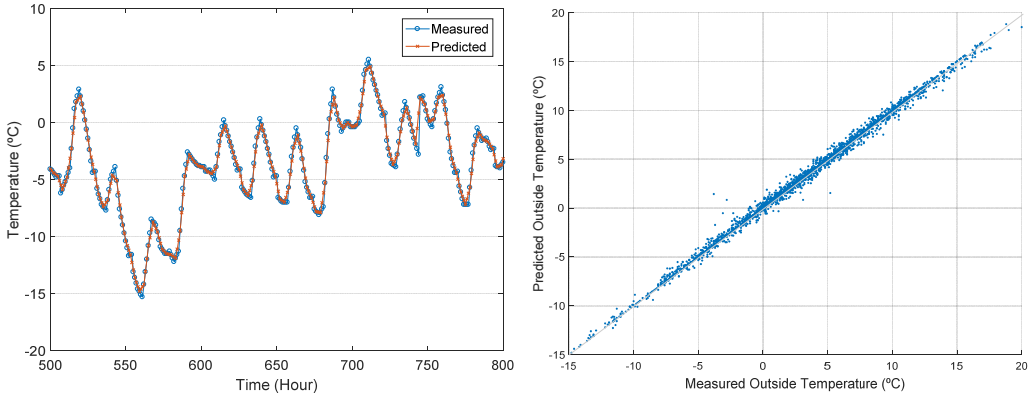


Fig. 5 Predicted air temperatures by the proposed model

3.3 일사 예측 모델 결과

일사 예측 모델 역시 하루단위 일사예측을 3달간 수행하였으며 예측결과는 Fig. 6에 나타내었다. Fig. 6 좌측 그래프에서 알 수 있듯이 일사예측모델은 일사량 거동 패턴은 비슷하게 묘사하였으나 특정일에 오차가 크게 발생하여 기준 일사량 모델의 최대값 기준 CVRMSE 14.2%수준의 오차를 보였다. 이는 ASHRAE의 건물 에너지 성능평가 지침을 만족하는 오차이나, 산점도의 점들이 우측 그림에서와 같이 주로 대각선과 대각선 아래 분포하며, 측정값 대비 일사량을 과소 예측하였다.

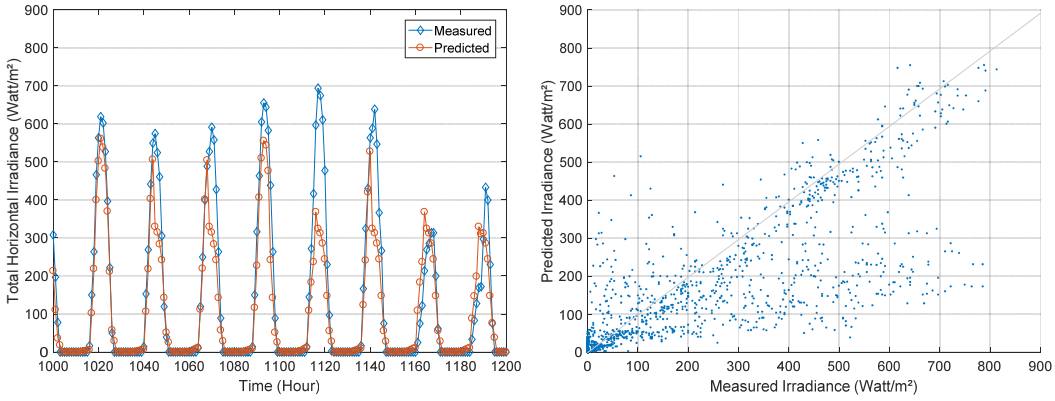
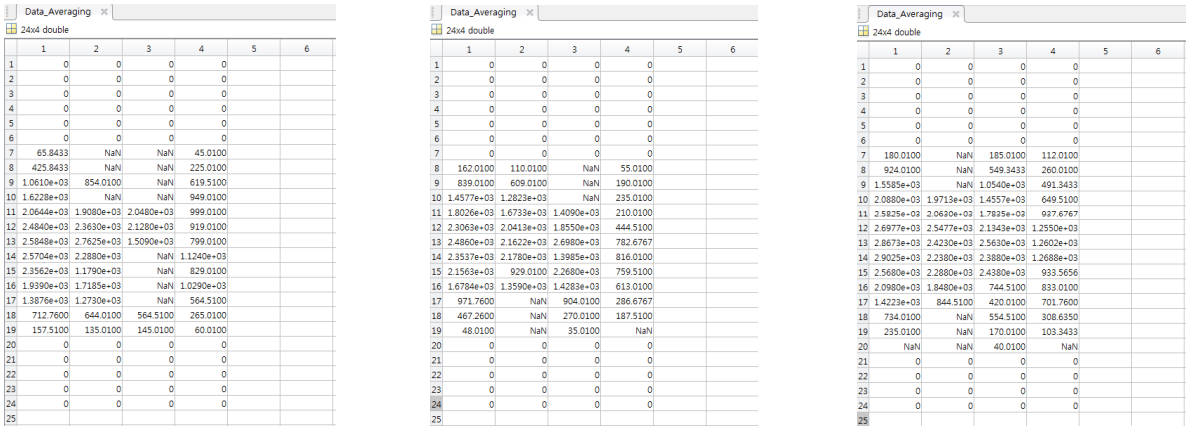


Fig. 6 Predicted horizontal irradiance using the proposed model

오차의 원인을 정리하면, 2주간 누적된 기상 데이터는 시간대별 운량 카테고리 마다 평균값을 기준으로 데이터 세트가 형성되기 때문에 해당 데이터 개수가 부족할 경우 평균 값의 신뢰도가 하락할 수 있다. 실제로 Fig. 7과 같이 임의의 3일간 2주 평균 일사량 표를 확인한 결과 시뮬레이션 기간 중 Fig. 3의 두 번째 표를 완전히 채운 경우는 드문 것으로 나타났다. Fig. 7에서 각 매틀랩 시트는 예측일 기준 지난 2주간의 시간별 평균 일사량을 나타내고 있으며 각 시트의 4개의 열은 4개의 운량 카테고리를 나타낸다. 이에 따라 적은 데이터로 수행된 선형보간 작업에서 오차가 발생하게 된다. 현재 일사 예측 모델은 데이터 누락 시 주변 값 변동편차를 통해 단순보간을 수행하였으나 향후 예측성능을 높이기 위해서는 보간에 있어 좀 더 디테일한 방법이 필요하다. 다음으로 예측을 위해 맑음, 구름 조금, 흐림, 매우 흐림 총 4가지 운량 카테고리만 사용하였기 때문에 적은 카테고리로 인한 평균화 오류가 발생 할 수 있다. 그러나 좀 더 상세한 카테고리 구분은 기상청 예보 상세 수준에 의해 결정되는 것이기 때문에 현재로서는 그 이상의 개선 방법이 존재하지 않는다.


Data_Averaging
24x4 double

	1	2	3	4	5	6
1	0	0	0	0		
2	0	0	0	0		
3	0	0	0	0		
4	0	0	0	0		
5	0	0	0	0		
6	0	0	0	0		
7	65.8433	NaN	NaN	45.0100		
8	425.8433	NaN	NaN	225.0100		
9	1.0610e+03	854.0100	NaN	619.5100		
10	1.6228e+03	NaN	NaN	949.0100		
11	2.0644e+03	1.9080e+03	2.0480e+03	999.0100		
12	2.4840e+03	2.3630e+03	2.1280e+03	919.0100		
13	2.5848e+03	2.7625e+03	1.5090e+03	799.0100		
14	2.5704e+03	2.2880e+03	NaN	1.1240e+03		
15	2.3562e+03	1.1790e+03	NaN	829.0100		
16	1.9390e+03	1.7185e+03	NaN	1.0290e+03		
17	1.3876e+03	1.2730e+03	NaN	564.5100		
18	712.7600	644.0100	564.5100	265.0100		
19	157.5100	135.0100	145.0100	60.0100		
20	0	0	0	0		
21	0	0	0	0		
22	0	0	0	0		
23	0	0	0	0		
24	0	0	0	0		
25						

Data_Averaging
24x4 double

	1	2	3	4	5	6
1	0	0	0	0		
2	0	0	0	0		
3	0	0	0	0		
4	0	0	0	0		
5	0	0	0	0		
6	0	0	0	0		
7	0	0	0	0		
8	162.0100	110.0100	NaN	55.0100		
9	839.0100	609.0100	NaN	190.0100		
10	1.4577e+03	1.2823e+03	NaN	235.0100		
11	1.8026e+03	1.6733e+03	1.4090e+03	210.0100		
12	2.3063e+03	2.0413e+03	1.8550e+03	444.5100		
13	2.4860e+03	2.1622e+03	2.6980e+03	782.6767		
14	2.3537e+03	2.1780e+03	1.3985e+03	816.0100		
15	2.1563e+03	929.0100	2.2680e+03	759.5100		
16	1.6784e+03	1.3590e+03	1.4283e+03	613.0100		
17	971.7600	NaN	904.0100	286.6767		
18	467.2600	NaN	270.0100	187.5100		
19	48.0100	NaN	35.0100	NaN		
20	0	0	0	0		
21	0	0	0	0		
22	0	0	0	0		
23	0	0	0	0		
24	0	0	0	0		
25						

Data_Averaging
24x4 double

	1	2	3	4	5	6
1	0	0	0	0		
2	0	0	0	0		
3	0	0	0	0		
4	0	0	0	0		
5	0	0	0	0		
6	0	0	0	0		
7	180.0100	NaN	185.0100	112.0100		
8	924.0100	NaN	549.3433	260.0100		
9	1.5585e+03	NaN	1.0540e+03	491.3433		
10	2.0880e+03	1.9713e+03	1.4557e+03	649.5100		
11	2.5825e+02	2.0620e-02	1.7835e+03	927.6767		
12	2.6977e+03	2.5477e+03	2.1343e+03	1.2550e+03		
13	2.8673e+03	2.4230e+03	2.5630e+03	1.2602e+03		
14	2.9025e+03	2.2380e+03	2.3880e+03	1.2688e+03		
15	2.5680e+03	2.2880e+03	2.4380e+03	933.5656		
16	2.0980e+03	1.8480e+03	744.5100	833.0100		
17	1.4223e+03	844.5100	420.0100	701.7600		
18	734.0100	NaN	554.5100	308.6350		
19	235.0100	NaN	170.0100	103.3433		
20	NaN	NaN	40.0100	NaN		
21	0	0	0	0		
22	0	0	0	0		
23	0	0	0	0		
24	0	0	0	0		
25						

Fig. 7 Example of 2-week mean hourly horizontal irradiance data by 4 cloudiness categories

3.4 기상예측 모델 적용 건물부하 계산 결과

최종적으로 본 연구에서 제안된 기상 예측 모델의 결과를 TRNSYS에 적용하여 건물의 난방부하를 계산하였고 시뮬레이션 결과를 Fig. 8에 정리하였다. 왼쪽 그래프에서 확인할 수 있듯이 전반적으로 실내의 열적거동을 잘 묘사하였으며 오른쪽 산점도 역시 대부분의 점이 대각선에 분포하며 예측 결과의 유사함을 확인할 수 있었다. 기상 예측모델에서 7.08% (외기온도예측), 14.2% (일사예측)의 오차가 있었지만 일반적인 건물의 경우 부하계산 결과는 이를 상쇄하며 CVRMSE 8.77%, MBE 2.5%로 ASHRAE의 건물 에너지 성능 평가 지침을 만족하였다. 그러나 창의 비중이 큰 커튼월 건물 등 일사량의 영향을 많이 받는 건물에 대해 개발된 일사 예측 모델을 적용할 경우 예측 부하의 결과가 커질 것으로 예상된다. 전반적인 예측모델 결과는 Table 4에 정리하였다.

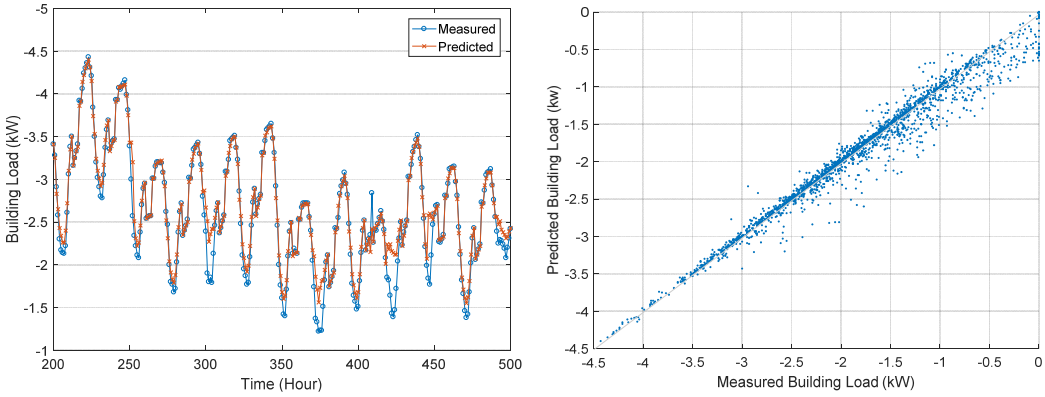


Fig. 8 Predicted horizontal irradiance using the proposed model

Table 4 Errors in building heating load using the proposed weather forecast models

	ASHRAE Guideline (2002)	CVRMSE (%) less than 30%	MBE (%) less than ±10%
Temperature model	○	7.08	0.1
Irradiance model	×	14.2	26.8
Building Load	○	8.77	2.5

4. 결 론

본 연구에서는 효율적인 운전계획을 세우기기 위해 하루 전에 제공되는 기상청의 단순 예보를 통해 다음날 시간대별 외기온도와 수평면 전일사량을 예측하는 모델을 제안하였다. 외기온도 예측모델은 3시간 단위 기상예보를 확보한 후 선형보간을 통해 사이 값을 예측하였고, 예측결과 CVRMSE 7.08%로 안정적인 예측 수준을 보였다. 일사 예측 모델은 누적된 과거 2주간의 운량과 시간대별 측정된 평균 일사량으로 기준이 되는 데이터 세트를 생성하고 기상청에서 예보되는 운량정보에 해당하는 일사량 값을 선택하여 다음날 시간대별 수평면 전일사량을 예측하였다. 예측결과 전반적으로 일사량 패턴은 비슷하게 묘사하였으며 CVRMSE 14.2% 수준의 오차를 보였다. 오차는 특정 시점에서 일사량을 과소 예측하며 발생했는데, 이는 지난 2주간 일사량 데이터로 기

준이 되는 데이터 세트를 구성하기 어려울 경우 부정확한 추정에 의해 정확도가 하락했기 때문이다. 향후 모델 보간 방법 개선 등을 통하여 성능 개선 연구가 필요하다고 판단된다.

예측된 기상데이터를 이용한 부하 예측 성능을 검증하기 위해 공동주택 한세대를 대상으로 에너지 해석프로그램인 TRNSYS를 통해 시뮬레이션을 진행하였다. 건물부하 계산결과 기상예측 모델에서 발생한 오차에도 불구하고 CVRMSE 8.77%로 ASHRAE의 에너지 성능평가 지침을 만족하였다.

본 연구는 적용이 용이한 모델 개발을 목적으로 시작되었기 때문에, 단순 기상예보 정보만을 이용한 기상 예측 모델이 제안되었다. 연구 결과 성능 개선 요인 등을 확인할 수 있었으나, 개발된 모델은 기준 오차 범위로 부하 예측이 가능하여 향후 시스템 운전 계획을 세우는 데 의미있는 예측 모델로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

후 기

본 연구는 한국에너지기술연구원의 주요사업(B8-2424-01)을 재원으로 수행한 연구과제의 결과입니다.

REFERENCES

1. IEA, Building Optimization and Fault Diagnosis Source Book, IEA, 1996.
2. Hwang, J. W. and Ahn, B. C., Experimental Study on Optimal Operation Strategies for Energy Saving in Building Central Cooling System, Journal of Institute of the Korea Academia-Industrial, Vol. 14, No. 9, pp. 4610-4615, 2013.
3. Shaheen, N. I. and Ahmed, O., A simple methodology to predict local temperature and humidity, ASHRAE Transaction, pp. 463-469, 1997.
4. Han, D. Y. and Youn, H. B., Study on Air Handling Unit Control Algorithms by Using Building Load Prediction, The Society of Air-Conditioning and Refrigerating Engineers of Korea, pp. 1451-1456, 2002.
5. Kawashima, M., Charles, E. D., and Hohn, W. M., Optimizing System Control With Load Prediction by Neural Networks for an Ice-Storage System, ASHRAE Transactioins, 1996.
6. Han, D. Y. and Lee, J. M., On-line building load prediction algorithm, Society of Air Conditioning and Refrigerating Engineers, pp. 405-410, 1999.
7. DOE-2, Building Optimization and Fault Diagnosis Source Book, DOE, 1996.
8. Kwak, Y. H., Kong, D. S., Seo, D. H., Jang, C. Y., and Huh, J. H., A Case Study for Real-time Energy Demand Prediction Using Virtual Test-Bed, Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building System 2011 Conference, pp. 191-194, 2011.
9. Joe, D. K., Chun, I. S., Lee, T. K., and Auh, C. M., Estimating Solar Radiation for Arbitrary Areas Using Empirical Forecasting Models, The Korean Solar Energy Society, Vol. 20, No. 3, pp. 21-30, 2000.
10. Jeon, B. K. and Kim, E. J., Calculation Method for the Transmitted Solar Irradiance Using the Total Horizontal Irradiance, Koeran Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 29, No. 4, pp.159-166., 2017.
11. ISO 13790, Energy performance of buidlings − calculation of energy use for space heating and cooling. International Organization for Standardization, ISO, 2008.
12. ASHRAE., Measurement Sof energy and demand saving, ASHRAE, 2012.