

실시간 빌딩 시뮬레이션을 위한 예측 기상 기반의 기상 데이터 파일 작성 기법

Forecasted Weather based Weather Data File Generation Techniques for Real-time Building Simulation

곽영훈* · 정용우* · 한혜심** · 장철용** · 허정호***†

Kwak Young-Hoon*, Jeong Yong-Woo*, Han Hey-Sim**, Jang Cheol-Yong**
and Huh Jung-Ho***†

(Submit date : 2013. 10. 10., Judgment date : 2013. 10. 17., Publication decide date : 2014. 2. 5.)

Abstract : Building simulation is used in a variety of sectors. In its early years, building simulation was mainly used in the design phase of a building for basic functions. Recently, however, it has become increasingly important during the operating phase, for commissioning and facility management. Most building simulation tools are used to estimate the thermal environment and energy consumption performance, and hence, they require the inputting of hourly weather data.

A building simulation used for prediction should take into account the use of standard weather data. Weather data, which is used as input for a building simulation, plays a crucial role in the prediction performance, and hence, the selection of appropriate weather data is considered highly important.

The present study proposed a technique for generating real-time weather data files, as opposed to the standard weather data files, which are required for running the building simulation. The forecasted weather elements provided by the Korea Meteorological Administration (KMA), the elements produced by the calculations, those utilizing the built-in functions of EnergyPlus, and those that use standard values are combined for hourly input. The real-time weather data files generated using the technique proposed in the present study have been validated to compare with measured data and simulated data via EnergyPlus. The results of the present study are expected to increase the prediction accuracy of building control simulation results in the future.

Key Words : 실시간(Real-time), 빌딩 시뮬레이션(Building simulation), 예측 기상(Forecasted weather), 기상 데이터 파일 (Weather data file), BCVTB(Building Control Virtual Test Bed)

***† 허정호(교신저자) : 서울시립대학교 건축학부
E-mail : huhj0715@uos.ac.kr, Tel : 02-6490-2757
*곽영훈 : 서울시립대학교 대학원 건축공학과
*정용우 : 서울시립대학교 대학원 건축공학과
**한혜심 : 한국에너지기술연구원 에너지효율연구본부
에너지절약연구실
**장철용 : 한국에너지기술연구원 에너지효율연구본부
에너지절약연구실

***† Huh Jung-Ho(corresponding author) : School of Architecture
and Architectural Engineering, University of Seoul.
E-mail : huhj0715@uos.ac.kr, Tel : 02-6490-2757
*Kwak Young-Hoon : Department of Architectural Engineering,
Graduate School, University of Seoul.
*Jeong Yong-Woo : Department of Architectural Engineering,
Graduate School, University of Seoul.
**Han Hye-Sim : Energy Efficiency Research Division, Energy
Saving Laboratory, Korea Institute of Energy Research.
**Jang Cheol-Yong : Energy Efficiency Research Division, Energy
Saving Laboratory, Korea Institute of Energy Research.

기 호 설 명		그 리 스 문 자	
c_1-c_5	: regression coefficients	α	: $\ln p_w$
C_6	: 6.54	σ	: Stefan-Boltzmann constant, 5.6697e-8 (W/m ² K ⁴)
C_7	: 14.526		
C_8	: 0.7389	φ	: relative humidity (%)
C_9	: 0.09486		
C_{10}	: 0.4569		
CC	: cloud cover (tenth)		
d	: regression coefficient	b	: beam
h	: solar altitude angle (deg)	d	: diffuse
Horizontal	: horizontal IR intensity	da	: dry air
-IR	(W/m ²)	DB	: dry bulb
I_g	: global horizontal radiation (W/m ²)	DP	: dew point
I_o	: solar constant, 1,367 (W/m ²)	i	: given time (in 3 h intervals)
K_T	: clearness index	w	: water
K_{TC}	: critical point of K_T		
N	: opaque sky cover (tenth), clear sky(N=0)		
p	: total pressure (kPa)		
p_w	: water vapor partial pressure (kPa)		
Pb	: barometric pressure (kPa)		
t	: celsius temperature (°C)		
T	: absolute temperature (K)		
T_n	: dry bulb temperature at hour n (°C)		
T_{n-3}	: dry bulb temperature at hour n-3 (°C)		
V_w	: wind speed (m/s)		
W	: humidity ratio (kg _w /kg _{da})		
x	: intermediate time to be calculated		
y	: weather data of intermediate time to be calculated		
Z	: altitude (m)		

하첨자

1. 서 론

건물 시뮬레이션은 다양한 방면에서 활용되고 있다. 초기에는 건물의 설계 단계 시 시뮬레이션의 기본 기능(설계 변수의 넓은 범위의 비교를 가능하게 하고, 최적의 설계를 선도함)을 위해 활용되었다면, 현재에는 커미셔닝, 시설관리 등의 운영 단계에서 점점 활용도가 높아지고 있다.¹⁾

운영 단계에서의 활용을 위한 대부분의 건물 시뮬레이션 툴들은 그들의 열 환경과 에너지 소비 성능 등을 예측하기 위하여 많이 이용되고 있고, 시간별 기상 데이터 입력을 요구하고 있다.²⁾³⁾⁴⁾ 그러나 일반적인 건물 시뮬레이션 툴들은 TMY(Typical Meteorological Year), TMY3, TRY(Test Reference Year), IWEC(International Weather for Energy Calculations) 등의 표준 기상 데이터 파일을 적용하여 시뮬레이션을 수행한다. 특히 건축

물리적 관점에서 기상 데이터는 매우 중요한 인자이며, 미래를 예측하는 건물 시뮬레이션에서는 표준 기상 데이터를 사용하는 것에 대하여 반드시 고려해야 할 부분이다.

여러 연구자들은 미래의 기후 변화에 따라 미래 기상 데이터가 필요할 것으로 판단하고 있다. Guan²⁾은 기후 변화 연구를 위한 미래 기상 데이터를 작성하는 방법을 검토하였고, 이를 적용하여 기상 변화에 따른 서로 다른 수준의 시뮬레이션 결과를 얻을 수 있다고 하였다. Crawley⁵⁾는 기후 변화에 따른 기상 예측을 통하여 기상 파일을 작성하였고, 이를 통해 도시 열섬(heat island)의 영향과 기상패턴 등을 분석하였다. Chan⁶⁾은 아열대 기후인 홍콩에서 미래 기후 변화의 영향을 고려하는 기상 데이터 파일을 작성하였고, 그로 인해 약 1%-10% 에너지 소비가 증가할 것으로 예측하였다.

한편, 다른 연구자들은 기상 데이터에 대한 중요성을 언급하면서, 다양한 건물 시뮬레이션을 위하여 기상 데이터를 생성하기도 하였다. 건물의 에너지 소비를 줄이기 위해 주광 제어를 통합하는 연구가 많이 진행되고 있으나, 하늘 상태(sky condition)에 따른 주광에 대한 변수를 사용할 수 없었다. 따라서 Wong³⁾은 30년간 측정 데이터를 분석하여 2가지 시간별 기상 데이터를 작성하였고, 주광 제어 연구에 적용 시켰다. Adelaar⁴⁾는 모든 종류의 기상에 적용할 수 있는 기상 데이터 생성 프로그램을 개발하였고, 열대 기후에 대하여 두 가지 예를 들어 테스트하였다.

이렇듯, 건물 시뮬레이션에서는 적절한 기상 데이터의 선택이 중요시 되고 있다. 현재의 상황을 그대로 반영하는 실시간 기상 데이터가 있다면, 건물 시뮬레이션 수행 시 적절한 기상 데이터가 선택되었다고 볼 수 있다. 뿐만 아니라 실시간 기상 데이터는 미래에 기후 변

화가 발생 하더라도 그때의 실시간 기상 변화를 반영할 수 있을 것이다.

따라서 본 연구에서는 건물 시뮬레이션을 수행하는데 요구되는 기상 데이터 파일을 표준 기상 데이터 파일이 아닌 실시간 기상 데이터 파일을 작성하는데 그 목적이 있다. 여기서, 실시간으로 예측되는 기상청의 다음날 기상 요소를 24시간 간격으로 입력받아 활용하기 때문에 실시간이라고 표현하였고, 1일 1회, 다음 날 하루를 위한 실시간 기상 데이터 파일이 작성되도록 설계하였다. 예측 기상을 활용하기 때문에 엄밀하게는 실시간 예측 기상 데이터 파일이겠으나 본 연구에서는 실시간 기상 데이터 파일이라고 하였다. 또한, 기상 데이터 파일은 EnergyPlus를 실행하는데 필요한 기상 데이터 파일(EnergyPlus Weather data file, epw 파일)을 뜻한다. 즉, 본 연구에서 제안하는 기상 데이터 파일 작성 기법은 epw 파일을 작성하는 기법이다.

2. 예비적 고찰

2.1 EnergyPlus 기상 데이터 파일

EnergyPlus 기상 데이터 파일에는 표 1과 같이 날씨와 기상 요소들이 조합되어 있다. 날씨 요소를 제외하고, 실제 EnergyPlus에서 사용되는 기상 요소는 건구 온도, 이슬점 온도, 상대습도, 대기압, Horizontal infrared radiation intensity, 직달일사, 확산일사, 풍향, 풍속을 포함하는 13종의 기상 요소와 그 외의 사용하지 않는 기상 요소가 있다. 총 29종의 기상 요소는 시간별로 나열되어 있으며, 본 연구에서는 이런 기상 데이터 파일을 매일 1일 1회, 24시간 동안의 기상 데이터 파일을 작성하고자 하였다.

2.2 EnergyPlus의 EMS Class

EnergyPlus의 EMS는 내부적으로 Erl

(EnergyPlus runtime language)을 실행하여 제어와 관리 정보를 EnergyPlus로 구현할 수 있다. Erl은 간단한 프로그램 언어로써 이전 세대의 건물에너지 해석 프로그램에서 할 수 없는 제어 및 특정 산출 값들을 구현 가능하게 한다.⁷⁾ 본 연구에서는 이슬점 온도 산출 시 Erl의 내장함수(built-in function)를 사용한 코딩을 적용하여 산출하였다.

Table. 1 Weather data file elements

Data element	Used by Energy-Plus	BCV-TB
Year	N	①
Month	Y	①
Day	Y	①
Hour	Y	①
Minute	N	①
Data source	N	⑥
Dry bulb temperature	Y	①
Dew point temperature	Y	④
Relative humidity	Y	①
Atmospheric station pressure	Y	③
Extraterrestrial horizontal radiation	N	⑥
Extraterrestrial direct normal radiation	N	⑥
Horizontal Infrared radiation intensity	Y	⑤
Global horizontal radiation	N	⑥
Direct normal radiation	Y	②
Diffuse horizontal radiation	Y	②
Global horizontal illuminance	N	⑥
Direct normal illuminance	N	⑥
Diffuse horizontal illuminance	N	⑥
Zenith luminance	N	⑥
Wind direction	Y	①
Wind speed	Y	①
Total sky cover	N	①
Opaque sky cover	N	①
Visibility	N	⑥
Ceiling height	N	⑥
Present weather observation	Y	⑥
Present weather codes	Y	⑥
Precipitable water	N	⑥
Aerosol optical depth	N	⑥
Snow depth	Y	⑥
Days since last snow	N	⑥
Albedo	N	⑥
Liquid precipitation depth	Y	⑥
Liquid precipitation rate	N	⑥

2.3 BCVTB(Building Control Virtual Test Bed)

본 연구에서 활용한 BCVTB는 서로 다른 프로그램의 시스템 설계와 분석을 위하여 모듈화된 소프트웨어 환경이다. BCVTB는 java 기반의 소프트웨어 프레임워크로 LBNL(Lawrence Berkeley National Laboratory)에서 이종의(heterogeneous) 시뮬레이션과 설계를 위하여 개발되었다.

본 연구에서는 웹기반의 기상 예보 데이터와 EnergyPlus를 연결하고, 기상 요소들의 조합을 위하여 BCVTB를 설계하였다.

3. 작성 기법

기상 데이터 파일에는 총 29종의 기상 요소가 시간별로 입력되어 있다. 시간별 입력은 29종의 기상 요소 중에서 그림 1과 같이 기상청에서 제공하는 예측 기상 요소, 계산식에 의해 산출된 기상 요소, EnergyPlus의 내장 기능을 활용한 기상 요소, 기본 값을 사용한 기상 요소들로 조합하였다. 표 1의 마지막 열은 그림 1에서의 프로세스를 거치면서 출력되는 기상 요소를 나타낸다.

3.1 예측 기상 요소와 시간별 보간

(1) 예측 기상 요소

기상청의 동네예보에는 실시간으로 3시간 간격의 온도, 습도, 풍향, 풍속, 운량 등의 기상 데이터를 예보하고 있다. 또한, 웹상에서 기상 예보가 XML 언어로 표현되어 제공되고 있으며, 이 XML을 읽어 들이는 것으로 BCVTB가 구동된다. 3시간 간격의 기상 요소를 24시간마다 입력 받도록 설계하였다. 기상청의 동네예보를 활용하는 것은 국내 어느 지역에서도 활용될 수 있다는 장점이 있다.⁸⁾

(2) 시간별 보간

기상청의 기상 예보는 3시간 마다 예보되고 있는 반면, 시뮬레이션에는 1시간 간격의 데이터가 요구된다. 식(1)과 같이 Lagrange 3차 보간법을 이용하면, 1시간 간격의 기상 데이터 값을 산출할 수 있게 된다.

일사 데이터는 예보하고 있지 않고 있다. 따라서 일사 데이터는 예측 모델을 이용하였고, 모델에서 사용하는 기상 변수는 3.1절에서 계산된 시간별 기상 요소를 이용하여 계산하였다. 여기서 일사는 전일사를 뜻하고, 전일사를 예측한 후 계산된 결과를 바탕으로 직산분리 모델을 통하여 직달일사와 확산일사를 산출하였다.

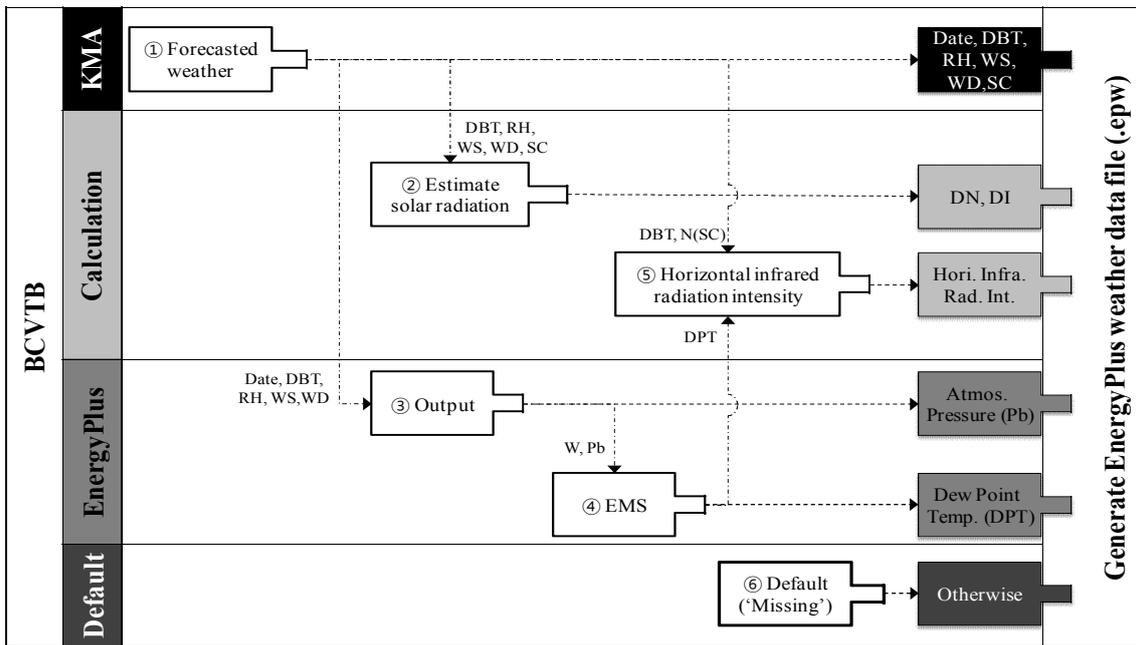


Fig. 1 Process of generating a weather data file based on forecasted weather
 (KMA: Korea Meteorological Administration; DBT: Dry Bulb Temperature; RH: Relative Humidity; WS: Wind Speed; WD: Wind Direction; SC(N): Sky Cover; DN: Direct Normal radiation; DI: Diffuse horizontal radiation; Pb: Atmospheric station pressure; W: Humidity ratio; DPT : Dew Point Temperature)

$$f(x) = y = \sum_{i=0}^3 y_i \prod_{j=0, j \neq i}^3 \frac{(x - x_j)}{(x_i - x_j)} \quad (1)$$

3.2 계산식에 의한 기상 요소

(1) 일사

기상 데이터 파일에는 일사 데이터의 입력이 요구되며, 전일사 뿐만 아니라 직달일사와 확산일사가 요구된다. 기상청에서는 시뮬레이션을 수행하는데 중요한 기상 요소 중 하나인

• 전일사

본 연구에서는 Seo⁹⁾의 모델식(2)를 활용하였다. 이 모델은 기존의 일사 모델을 비교 분석하여 보완된 모델식이며, 회귀계수의 변경에 따라 대한민국 주요 도시를 포함한 전 세계의 어느 지역에서든지 일사를 계산할 수 있는 일사 모델이다.

$$I_g = I_o \cdot \sin(h) \cdot \left\{ \begin{array}{l} c_0 + c_1(CC) + c_2(CC)^2 + d \\ + c_3(T_n - T_{n-3}) \\ + c_4(\varphi) + c_5(V_w) \end{array} \right\} \quad (2) \quad (K_T < K_{TC}) \quad (8)$$

$$K_{DS} = (3.996 - 3.862 \sin(h) + 1.54 \sin^2(h)) K_T^3$$

여기서, $c_0 \sim c_5$, d 은 회귀 계수이며, 국내 대표 5개 도시에 해당하는 회귀 계수는 표 2¹⁰⁾와 같다.

Table. 2 Site-specific regression coefficients

	Seoul	Daejeon	Daegu	Busan	Gwangju
c_0	0.6144	0.6450	0.5445	0.7002	0.7016
c_1	-0.0225	0.1070	0.0670	0.1920	0.1190
c_2	-0.3088	-0.4313	-0.3916	-0.5745	-0.4518
c_3	0.0333	0.0245	0.0248	0.0223	0.0163
c_4	-0.0024	-0.0020	-0.0015	-0.0021	-0.0020
c_5	0.0122	0.0047	0.0167	0.0033	-0.0048
d	-6.9008	-5.4206	-4.2085	-7.5030	-2.2362

• 직산분리

Seo의 연구에 따르면, 직산분리 모델 이용 시, Watanabe 모델식¹¹⁾을 이용하였을 때 예측 율이 높다고 하였다.⁹⁾ 따라서 본 연구에서도 직산분리 모델은 Watanabe 모델식을 활용하였으며, 식(3)-(8)과 같다.

$$I_b = I_o \sin(h) K_{DS} (1 - K_T) / (1 - K_{DS}) \quad (3)$$

$$I_d = I_o \sin(h) (K_T - K_{DS}) / (1 - K_{DS}) \quad (4)$$

$$K_T = I_g / I_o \sin(h) \quad (5)$$

$$K_{TC} = 0.4268 + 0.1934 \sin(h) \quad (6)$$

$$(K_T \geq K_{TC}) \quad (7)$$

$$K_{DS} = K_T - \left(1.107 + 0.03569 \cdot \sin(h) \right) (1 - K_T)^3 + 1.681 \cdot \sin^2(h)$$

(2) Horizontal infrared radiation intensity
Horizontal Infrared Radiation Intensity는 아래 식 (9)-(10)과 같이 계산할 수 있다.⁷⁾

$$\text{Horizontal-IR} = \text{Sky}_{\text{emissivity}} \times \sigma \times T_{DB}^4 \quad (9)$$

$$\text{Sky}_{\text{emissivity}} = \left(0.787 + 0.764 \times \ln \left(\frac{T_{DP}}{273} \right) \right) \times \left(1 + 0.0224 N + 0.0035 N^2 + 0.00028 N^3 \right) \quad (10)$$

여기서, T_{DB} , T_{DP} 는 절대 온도 값이며, N 은 전일사를 계산할 때 이용한 CC 를 나타낸다. T_{DB} 와 N 은 3.1절에서 계산된 시간별 기상 요소를 이용하였고, T_{DP} 는 3.3절에서 소개한 방법으로 계산한 값을 이용하였다.

3.3 EnergyPlus와 EMS 기능을 활용한 기상 요소

(1) Barometric pressure

대기압은 해수면에서 표준 온도 15°C 기준으로, 101.325 kPa이다. 즉, 고도가 달라지면 표준 온도가 달라지고, 그에 따른 대기압도 달라진다. 식 (11)은 고도에 따른 대기압의 계산식이며, 식 (12)는 고도에 따른 표준온도의 계산식이다. 여기서, 온도는 고도에 따라 선형으로 변하고, 중력 가속도는 9.80665 m/s²라고 가정하였다.¹²⁾

$$Pb = 101.325 (1 - 2.25577 \times 10^{-5} Z)^{5.2559} \quad (11)$$

$$t = 15 - 0.0065 Z \quad (12)$$

한편, 고도는 해수면으로부터의 높이를 측정하게 된다. 그러나 해수면의 높이가 항상 같다면 상관없지만, 바다에는 밀물과 썰물이 존재하여 해수면의 높이는 항상 바뀌고 있다. 밀물과 썰물은 지구의 자전과 공전에 의한 인력과 원심력에 의해서 주기적으로 변하고 있으므로, 그 주기는 하루 혹은 1년 단위라고 말할 수 있다. 즉, 시간마다 해수면이 변하지만, 1년 단위의 관점으로 볼 때, 1년 전의 지금 시각과 1년 후의 지금 시각에 대한 고도는 동일하다고 가정할 수 있다. 따라서 고도에 따른 대기압은 식 (11)에 의해 계산되어야 하지만, 본 연구에서는 연구가 수행되어진 날(day)과 시간(hour)에 대한 대기압을 따로 계산하지 않고, 표준 기상데이터의 대기압 데이터를 그대로 사용하기로 하였다(예를 들면, 2013년 8월 7일 1시부터 24시까지의 대기압 데이터는 표준 기상데이터의 8월 7일 1시부터 24시까지의 대기압 데이터를 사용함).¹³⁾

(2) 이슬점 온도(Dew point temperature)

이슬점 온도는 절대습도(W)와 대기압(p)의 두 값을 알면 관계식으로 계산할 수 있다. 우선, 두 변수로 식 (13)을 통해 수증기 분압(water vapor partial pressure(p_w))을 구한다. 이후 식 (14) 또는 (15)로 이슬점 온도를 계산한다.

$$p_w = \left(\frac{Pb \cdot W}{0.621945 + W} \right) \tag{13}$$

$$t_{DP} = C_6 + C_7\alpha + C_8\alpha^2 + C_9\alpha^3 + C_{10}(p_w)^{0.1984} \tag{14}$$

($0 \leq \text{dew points} \leq 93^\circ\text{C}$)

$$t_{DP} = 6.09 + 12.608\alpha + 0.4959\alpha^2 \tag{15}$$

(dew point $< 0^\circ\text{C}$)

위의 관계식 계산 시 절대습도(humidity ratio (W))는 건구온도와 습구온도의 관계식¹²⁾으로 구할 수 있다.

한편, 이슬점 온도는 위의 계산식으로 계산이 가능 하지만, Erl의 내장함수(built-in function)를 사용하면 좀 더 쉬운 방법으로 이슬점 온도를 계산할 수 있다. 이슬점 온도를 구할 수 있는 함수는 표 3⁷⁾과 같이 2가지가 있다.

Table. 3 Built-in psychrometric functions for Erl

Function name	Arguments	Description
@TdpFnTdbTwbPb	Result	Dew point temperature
	Input 1	Dry bulb temperature
	Input 2	Wet bulb temperature
	Input 3	Barometric pressure
@TdpFnWPb	Result	Dew point temperature
	Input 1	Humidity ratio
	Input 2	Barometric pressure

첫 번째 함수(@TdpFnTdbTwbPb)는 건구온도, 습구온도, 대기압의 3가지 변수를 이용하여 이슬점온도를 구하는 함수이고, 두 번째 함수(@TdpFnWPb)는 절대습도와 대기압의 2가지 변수를 이용한 함수이다. 절대습도는 건구온도와 습구온도를 알고 있을 때 구할 수 있으므로 두 가지 함수는 동일한 내용을 가지는 함수인 셈이다. 본 연구에서는 두 번째 함수를 적용하여 이슬점 온도를 산출하였다.

3.4 Default 기상 요소

이상에서 언급한 주요 기상 요소 외의 기상 요소는 ‘missing’ 데이터로 처리하였다. 기상 프로세서(weather processor)는 ‘missing’ 데

4. 검증 및 토의

실시간 기상 데이터 파일을 이용한 시뮬레이션의 장점은 표준 기상 데이터 파일을 활용한 시뮬레이션보다 정확도가 높은 시뮬레이션을 수행할 수 있다는 것이다. 실제 측정 데이터와 시뮬레이션의 데이터의 비교를 통해 실시간 기상 데이터 파일의 유의성을 검토하였다.

4.1 대상 건물

유의성 검토를 위해 선정된 대상 건물은 대전에 위치한 G건물이며, 모델과 시스템 다이어그램은 그림 4⁸⁾와 같다. 공공기관 건물이며, 남측면에 이중외피가 설치되었다. 공조는 VAV 방식으로 공조기 4대가 운영되고 있다.

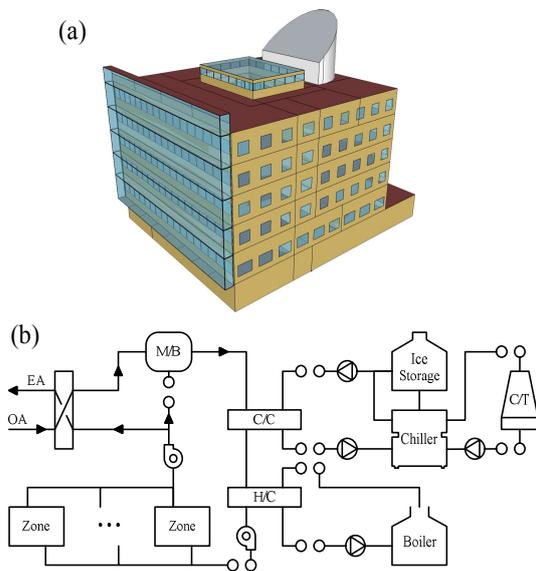


Fig. 4 Target building (a) modelling, (b) system diagram

4.2 결과 및 토의

대상건물에 표준 기상 데이터 파일과 실시간 기상 데이터 파일을 활용하여 에너지를 예

측하였다. 표준 기상 데이터는 실시간으로 변화되는 외부 기상 요소들을 반영하지 않기 때문에 실제 변화되는 실시간 기상 데이터와는 차이가 발생할 수밖에 없다. 그림 5는 기상 데이터의 여러 기상요소 중에서 대표적으로 기상 데이터의 건구온도(DB_Standard)와 예측 기상 기반의 실시간 건구온도(DB_Real-time), 측정된 건구온도(DB_Measured)의 비교를 나타냈다. 여기서, 예측 기상 기반의 실시간 건구온도는 실시간 기상 데이터 파일의 건구온도를 뜻한다.

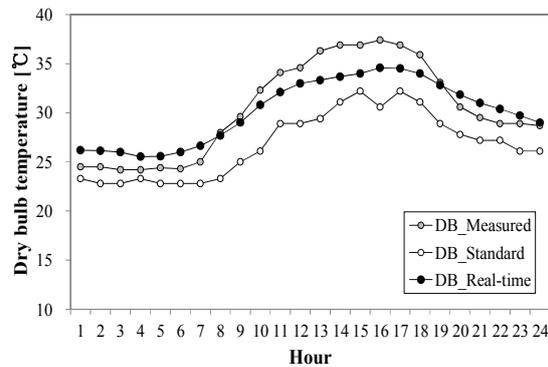


Fig. 5 Comparison of dry bulb temperature (2013. 8. 7)

하절기 냉방과 밀접한 관계를 나타내는 낮 시간대를 비교했을 때, 예측 기상 기반의 실시간 건구온도는 표준 기상 데이터의 건구온도보다 높았으나, 실제 측정된 건구온도보다는 낮았다. 이런 기상 요소의 차이는 곧 냉방 에너지 사용량으로 직결된다. 표 4는 표준 기상 데이터(Standard)와 예측 기상 기반의 실시간 기상 데이터(Real-time)를 활용하여 각각 에너지 사용량을 예측하였고, 측정된 에너지 사용량(Measured)과 비교하였다. 또한, 표 4에서 통계적 지표인 시간별 MBE와 $C_v(RMSE)^{14}$ 를 통해 예측 성능을 비교하였다. MBE와 $C_v(RMSE)$ 는 0%에 가까울수록 정확도가 높음을 의미한

다. 표 4에 나타난 오차 값은 표준 기상 데이터를 활용하여 에너지 사용량을 예측할 때보다 실시간 기상 데이터를 활용하여 에너지 사용량을 예측할 때가 예측율이 더 높다는 것을 나타낸다. 즉, 시간 단위의 시뮬레이션에서는 실시간 기상 데이터를 활용하는 예측 방법이 기존의 표준 기상 데이터를 활용하는 예측 방법보다 예측율을 향상 시키는 방법이라고 할 수 있다.

Table. 4 Calculate hourly MBE and Cv(RMSE)

Hour	Measured	Standard	Real-time
8	15.273	38.938	26.221
9	29.451	52.420	49.744
10	42.926	59.723	54.926
11	233.206	188.635	236.936
12	204.969	174.304	206.108
13	70.477	95.661	56.496
14	253.352	208.219	240.276
15	42.228	70.990	39.770
16	135.015	133.520	116.648
17	248.596	207.234	235.543
18	37.398	45.077	26.041
19	22.087	21.412	23.496
	Acceptable value		
MBE	±10%	-2.9%	-1.7%
Cv(RMSE)	30%	25.4%	10.7%

한편, 본 연구에서의 실시간 기상 데이터라 함은 현재 시간에서 예보된 내일의 기상을 바탕으로 작성되기 때문에 실시간 기상 이라고 하였다. 즉, 내일의 기상을 예보하는 것은 현재 시간의 기상이 반영되어 예보되기 때문이다. 또한, BCVTB에서 시뮬레이션은 24시간(86,400초) 마다 반복되도록 설계 하였고, 이것은 실제 시간과 동기화되어 매일 새로운 실시간

기상 데이터 파일이 생성될 수 있게 작성된 것이다. 그림 6과 같이 'synchronizeToRealTime' 부분(가운데 점선 부분)에 선택(check)을 해주면, 컴퓨터 시간과 시뮬레이션 시간은 동기화가 된다.

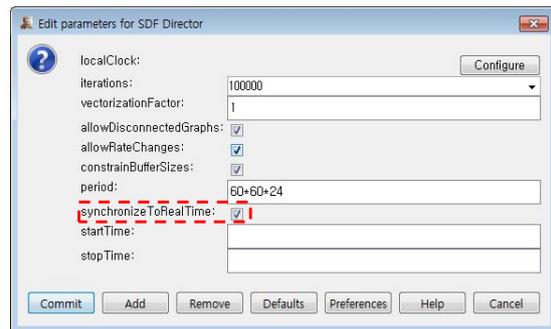


Fig. 6 Real time synchronization on the BCVTB

5. 결 론

본 연구에서는 BCVTB 안에서 예측 기상 요소들과 계산 식, EnergyPlus의 내장 기능, 기본 값을 이용하여 시뮬레이션 전용 실시간 기상 데이터 파일을 작성하는 기법을 제안하였다. 이 기법은 매일 1일 1회의 24시간용 기상 데이터 파일이 생성되게 한다. 제안된 기법을 통해 작성된 실시간 기상 데이터 파일은 표준 기상 데이터 파일보다 시간 단위의 시뮬레이션을 수행할 시 측정값에 근접한 시뮬레이션을 수행할 수 있었다. 본 연구의 결과를 이용하여 단기간 건물 예측 제어 시뮬레이션을 수행하게 되면, 보다 합리적인 결과를 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

후 기

본 연구는 한국에너지기술연구원의 주요사업으로 수행한 결과임(과제번호 : B3-2431-03).

참 고 문 헌

1. Augenbroe, G., Trends in building simulation, Building and Environment, 2002. pp. 891~902.
2. Guan, L., Preparation of future weather data to study the impact of climate change on buildings, Building and Environment, 2009, pp. 793~800.
3. Wong, S. L., et al., Generation of typical weather years with identified standard skies for Hong Kong, Building and Environment, 2012, pp. 321~328.
4. Adelaar, L., et al., A detailed weather data generator for building simulations, Energy and Buildings, 2000, pp. 75~88.
5. Crawley, D. B., Creating weather files for climate change and urbanization impacts analysis, Proceedings: Building Simulation 2007, 2007, pp. 1075~1082.
6. Chan, A. L. S., Developing future hourly weather files for studying the impact of climate change on building energy performance in Hong Kong, Energy and Buildings, 2011, pp. 2860~2868.
7. EnergyPlus, EnergyPlus documentation Version 7.0, 2011.
8. Kwak, Y., et al., Feasibility study on a novel methodology for short-term real-time energy demand prediction using weather forecasting data, Energy and Buildings, 2013 pp. 250~260.
9. Seo, D., Development of a universal model for predicting hourly solar radiation- application: evaluation of an optimal daylighting controller, Ph. D dissertation, University of Colorado-Boulder, USA, 2010.
10. Seo, D. H. and Ihm, P. C., Comparative solar models performance analysis for typical meteorological year development of Korea, Journal of the Architectural Institute of Korea, 2010, pp. 147~154.
11. Watanabe, T., Urano, Y., and Hayashi, T., Procedures for separating direct and diffuse insolation on a horizontal surface and prediction of insolation on tilted surfaces, Transactions, No. 330, Architectural Institute of Japan, Tokyo, Japan, 1983, pp. 96~108.
12. ASHRAE, ASHRAE Handbook fundamentals (SI Edition), 2009.
13. Kwak, Y., Predictive control of cooling system through the development of real-time building energy simulation framework, Ph. D. dissertation, University of Seoul, 2014.
14. U. S. DOE, M&V Guidelines: Measurement and verification for federal energy project, Version 3.0, 2008.