

수평면 전일사량 산출모델이 일사열취득계수 및 창면적비를 고려한 건물 에너지 성능분석에 미치는 영향

Impact of Horizontal Global Solar Radiation Calculation Models on Building Energy Performance Analysis Considering Solar Heat Gain Coefficient and Window-to-wall Ratio

김기한*† · 오기환**

Kee Han Kim*† and John Kie-Whan Oh**

(Submit date : 2013. 11. 20., Judgment date : 2013. 11. 22., Publication decide date : 2014. 1. 14.)

Abstract : Solar applications analysis and building energy performance depend on the quality of the solar resource data available. Unfortunately, most of the weather stations do not measure solar radiation data in Korea, as a reason many researchers have studied different solar radiation estimation models and suggested to apply them to various locations in Korea. In addition, they also studied the impact of hourly global solar radiation on energy performance of an office building by comparing the simulated building energy consumptions using four different weather files, one using measured, and three estimated solar radiation from different models, which are Cloud-cover Radiation Model (CRM), Zhang and Huang Model (ZHM), and Meteorological Radiation Model (MRM), and concluded that there was some impact on energy performance of the building due to the using different solar radiation models. However, the result cannot be applied to all other buildings since the simulated office building for that study only used limited building characteristics such as using fixed values of solar heat gain coefficient (SHGC) and window-to-wall ratio (WWR), which are significant parameters related to solar radiation that affect to the building energy consumptions. Therefore, there is a need to identify how the building energy consumption will be changed by varying these building parameters. In this study, the impact of one measured and three estimated global solar radiation on energy performance of the office building was conducted taking account of SHGC and WWR. As a result, it was identified that the impact of four different solar radiation data on energy performance of the office building was evident regardless SHGC and WWR changes, and concluded that the most suitable solar models was changed from the CRM/ZHM to the MRM as SHGC and WWR increases.

Key Words : 수평면 전일사량 (Horizontal global solar radiation), Cloud-cover Radiation Model (CRM), Zhang and Huang Model (ZHM), Meteorological Radiation Model (MRM), 건물 에너지 해석 프로그램, DOE-2.2/eQUEST, Solar heat gain coefficient (SHGC), Window-to-wall ratio (WWR).

*† 김기한 (교신저자) : 미국 텍사스 A&M 대학교 대학원 건축학과
E-mail : keehankim@outlook.com, Tel : +1-979-220-8199
**오기환 : 동서대학교 건축설계학과
* Kim, Kee Han (Corresponding author) : Department of Architecture, Graduate School, Texas A&M University, U.S.A.
E-mail : keehankim@outlook.com, Tel : +1-979-220-8199
**Oh, John Kie-Whan : Department of Architectural Design, Dongseo University.

1. 서 론

건물 에너지 해석 프로그램에 필수적으로 사용되는 기상파일에는, 해당 지역의 시간별 건구온도, 습구온도, 노점온도, 풍향, 풍속, 대기압, 운량, 강수량, 일조시간 등의 기본적인 기상요소와 함께, 수평면 전일사량 및 법선면 직달일사량과 같은 일사량 정보를 포함한다. 기상파일을 작성하기 위해서는 이와 같은 기상정보를 해당 지역의 기상청을 통하여 입수하는 것이 일반적이며, 대부분의 기본적인 기상요소는 기상관측소에서 제공하는 시간별 실측 데이터를 사용한다. 하지만, 현재 우리나라 뿐 아니라 선진국 대부분의 기상관측소에서도 실제로 일사량을 실측하고 있는 곳은 많지 않다. 우리나라에서는 서울, 부산, 대구, 광주 등 대도시를 비롯한 22개 기상관측소¹⁾에서만 수평면 전일사량 및 법선면 직달일사량을 실측하고 있으며, 이를 제외한 다른 지역에 있어서는 가장 신뢰할 수 있는 산출모델을 활용하여 예측한 결과를 이용하고 있다.

최근 본 저자에 의해 진행된 시간당 수평면 전일사량 산출모델의 정밀도 개선을 위한 선행연구²⁾에서는 미국난방냉동공조학회 (ASHRAE)의 연구보고서³⁾에서 제시하고 있는 24개의 시간당 수평면 전일사량 산출모델들 중에서 미국에서 가장 일반적으로 활용되고 있는 세 가지 모델인 Cloud-cover Radiation Model (CRM), Zhang and Huang Model (ZHM)과 Meteorological Radiation Model (MRM)을 활용하여 우리나라 남부 해안지역을 대상으로 수평면 전일사량의 정밀도를 비교, 분석하였다. 연구의 결과, t-statics 수치에 의한 신뢰도는 지역계수를 보정한 ZHM 모델이 상대적으로 가장 우수한 예측결과를 도출하였으나, 계절적 편차가 크고 특히 여름철과 겨울철의 극한 기후에

는 그 오차가 크게 증가하는 것이 밝혀졌다. 그 결과 계절별 특성을 반영한 세분화된 조건의 새로운 산출모델이 예측 일사량의 신뢰도를 크게 향상시킬 수 있는 것으로 밝혀졌으며, 이에 따른 계절별 복합 산출모델을 활용함으로써 신뢰수준을 크게 향상시킨 시간당 수평면 전일사량의 예측이 가능하다는 것을 알 수 있었다.

본 저자의 후속연구⁴⁾에서는 수평면 전일사량 산출모델에 의해 도출된 기상데이터의 오차가 건물 에너지 성능분석의 결과에 미치는 실제적인 영향력을 파악하기 위한 연구를 진행하였다. 이를 위해 실측 및 예측모델을 통해 산출한 수평면 전일사량을 포함하는 여러 TRY 기상파일을 작성한 후, 이를 외부조건으로 DOE-2.2/eQUEST 프로그램을 사용하여 월별 냉방소비량, 난방소비량, 전체 에너지 소비량 등에 대하여 부산지역 표준형 사무소 건물을 대상으로 에너지 성능분석을 수행하여, 수평면 전일사량의 예측오차가 건물 에너지 성능분석에 미치는 영향을 실측 전일사량과 관계하여 비교분석하였다. 그 결과, 수평면 전일사량의 예측은 MRM 모델이 전반적으로 실측치에 가장 가까운 것으로 나타남에도 불구하고, 냉방 소비량 예측에는 CRM 모델과 ZHM 모델이, 난방 소비량 예측에는 MRM 모델이 적합하며, 기상과 관련 있는 요소들에 의한 에너지 소비량의 예측에서는 하계에는 CRM 모델이, 동계에는 ZHM 모델이 각각 최적의 시뮬레이션 결과를 제공하는 것이 밝혀졌다. 이러한 사실은 전반적으로 신뢰할 수 있는 예측 모델들을 활용하는 경우에도, 에너지 분석항목별로, 계절별로 전혀 상이한 시뮬레이션 결과를 제공하므로 분석항목에 따라서 월별로 적절한 일사량 예측모델이 활용되어야 한다는 사실을 나타내었다. 이상의 연구 결과에도 불

구하고 이러한 선행연구는 어느 특정지역의 기상 데이터를 활용한 특정 건물 개요로 모델링한 사무소 건물에 대한 건물 에너지 성능분석의 결과로서 국내 모든 지역의 기후조건에 적용 가능한 분석 결과라고는 할 수 없다. 특히, 건물에서 일사량에 의한 열취득에 결정적인 영향을 미치는 일사열취득계수 (SHGC: Solar Heat Gain Coefficient) 및 창면적비 (WWR: Window-to-wall ratio)의 변화에 따라 이들 기상데이터를 활용한 건물 에너지 성능분석에 예측불능의 결과를 야기할 가능성이 있다.

따라서 본 연구는 일사 예측모델의 정밀도가 컴퓨터 프로그램을 활용한 건물 에너지 성능분석의 결과에 미치는 영향에 대한 일련의 연구의 한 과정으로서, 실측 및 예측 모델에 의한 일사량 값이 건물 에너지 성능에 미치는 영향을 건물의 일사열취득계수 및 창면적비의 변화에 따른 영향을 중심으로 파악하였다.

2. 건물 에너지 성능해석을 위한 기본 정보

2.1 세 가지 수평면 전일사량 산출모델

본 연구에서 비교하는 세 가지의 수평면 전일사량 산출모델은 Cloud-cover Radiation Model (CRM), Zhang and Huang Model (ZHM)과 Meteorological Radiation Model (MRM)이다. 이 세 가지 모델은 보편성 및 정확성에 있어서 신뢰 받고 있는 모델로, CRM과 ZHM은 지역계수를 활용하는 모델로, 과거 수년간의 충분한 시간동안 그 지역의 실측 일사량과 기상정보와의 상관관계에서 지역계수를 도출하여 일사량을 산출하는 회귀형 모델이고, MRM은 그 지역의 기상정보만으로 대기상의 상태를 계산하여 대기권 밖 일사량이 대기권을 통과하며 생기는 흡수, 산란 등을 고려하여 지표면에 도달하는 일사량을 산출하는 역학형 모델이다.

이들 모델의 자세한 산출방법과 유도방정식에 대해서는 본 저자의 선행연구²⁾를 참조하기 바란다. 이 연구 결과에 의하면, 월별 수평면 전일사량의 경우에는 MRM, ZHM, CRM 순으로, 그리고 연간 수평면 전일사량의 경우에는 ZHM, MRM, CRM 순으로 정확도가 높은 것으로 나타났다.

2.2 기상파일 (TRY) 작성

본 연구에서는 수평면 전일사량의 차이가 일사열취득계수 및 창면적비를 고려한 사무소 건물 에너지 성능에 미치는 영향을 파악하는 것이 목적이기 때문에 전일사량을 제외한 모든 기상요소는 각 기상파일에 동일하게 사용하였다. 각 기상파일에 포함되는 기상요소를 Table 1에 정리하였다. 보다 자세한 기상파일의 작성과정에 대해서는 본 저자의 선행연구⁴⁾를 참조하기 바란다.

Table 1. Summary of four TRY weather files

	Weather File #1	Weather File #2	Weather File #3	Weather File #4
Dry-bulb Temp.	○ (Busan Station)	○ (Busan Station)	○ (Busan Station)	○ (Busan Station)
Wet-bulb Temp.	○ (Busan Station)	○ (Busan Station)	○ (Busan Station)	○ (Busan Station)
Dew-point Temp.	○ (Busan Station)	○ (Busan Station)	○ (Busan Station)	○ (Busan Station)
Wind Speed	○ (Busan Station)	○ (Busan Station)	○ (Busan Station)	○ (Busan Station)
Wind Direction	○ (Busan Station)	○ (Busan Station)	○ (Busan Station)	○ (Busan Station)
Station Pressure	○ (Busan Station)	○ (Busan Station)	○ (Busan Station)	○ (Busan Station)
Global Radiation	x (Measured)	x (CRM)	x (ZHM)	x (MRM)
Direct Normal Radiation	○ (Measured GSR & Erbs)	○ (Measured GSR & Erbs)	○ (Measured GSR & Erbs)	○ (Measured GSR & Erbs)

2.3 건물 에너지 해석 프로그램

본 연구에서는 건물 에너지 해석 프로그램으로 DOE-2.2/eQUEST를 사용하였다. 이 프로그램을 사용하여 Fig. 1과 같이 부산에 위치한 표준형 사무소건물을 모델링하였으며, 여기에 사용된 건물의 입력정보는 Table 2, 냉난방공조시스템의 입력정보는 Table 3에 정리하였다. Table 2, 3에서 제시하고 있는 입력값은 다음과 같은 기준으로 설정하였다. 건물의 외벽, 지붕, 바닥, 유리창 등 건물 외피의 열관류율은 『건축물의 에너지절약설계기준 해설서』⁵⁾에 준하여 설정하였으며, 침기량은 미국 Pacific Northwest National Laboratory (PNNL)⁶⁾에서 제안하는 값으로 설정하였다. 또한, 건물 에너지 해석 프로그램에 필요한 내부발열, 조명밀도, 기기발열밀도 및 채실, 조명, 기기, 냉난방시스템의 설정온도, 환풍, 급탕기의 운행일정은 미국 National Renewable Energy Laboratory (NREL)에서 제안하고 있는 주중 및 주말 일정⁷⁾을 적용하였다. 건물의 냉난방공조설비는 사무소건물에서 가장 보편적으로 쓰여왔던 단일덕트 변풍량 재열방식을 채택하였다. Fig. 1에서 볼 수 있듯이 건물의 형태는 방향성이 없는 단순한 정방형의 형태를 취하고 있으며, 건물의 개구부의 비율은 모든 방향으로 동일하게 설정하였다.

본 연구는 건물의 일사열취득계수 및 창면적비의 변화에 따라서 전일사량이 표준형 사무소건물의 에너지 성능에 미치는 영향을 파악하는 것이 목적이기 때문에, 초기의 사무소 건물 형태의 모든 조건은 동일하게 설정하였고, 일사량의 영향을 받는 건물의 각 해당 변수에 변화를 주면서 건물 에너지 해석 프로그램을 수행하였다. 즉, 초기에는 정방형 형태의 건물에서 각 벽면의 일사열취득계수는 0.4, 창면적비는 28%로 설정하였고, 그 다음 과정으로,

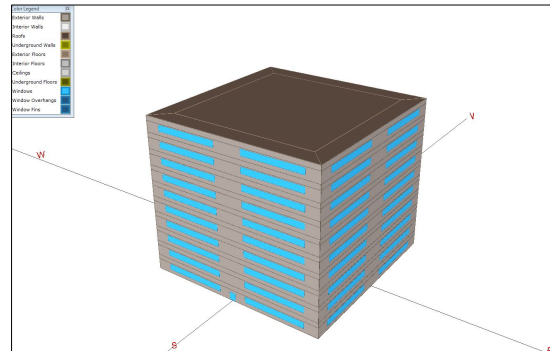


Fig. 1. Modeled office building using DOE-2.2/eQUEST

Table 2. Description on envelope of office building model

General	Floor Area (m ²)	2,323
	Number of Floors	10
	Window-to-wall Ratio (%)	28 (Floor-ceiling)
	Floor-to-ceiling Height (m)	2.7
Exterior Wall	U-factor (W/m ² K)	0.45
Roof	U-factor (W/m ² K)	0.24
Slab-on-grade Floor	U-factor (W/m ² K)	0.58
Window/Door	U-factor (W/m ² K)	2.70
	Solar Heat Gain Coefficient	0.40
	Air Infiltration (m ³ /hr-m ²)	2.19
Internal Load	Area/Person (m ²)	9.3
	People Load (Sensible & Latent Heat Gain in W)	117.2
	Lighting Density (W/m ²)	12.92
	Equipment Density (W/m ²)	16.15

Table 3. HVAC systems used in office building model

HVAC systems	System Type	Single Duct VAV w/ reheat
Plant	Chiller Efficiency	SEER 13
	Boiler Efficiency	86.5%
	Service Water Heater Efficiency	EF 0.93

이와 같이 설정한 사무소건물에서 각 벽면의 창면적비를 30%, 50%로 변화를 주었으며, 각 창면적비에서 일사열취득계수가 0.4, 0.6, 0.8인 경우의 건물 에너지 성능을 비교하였다. 이 모든 경우에 있어서, 실측 및 세 가지 예측모델에 의한 전일사량을 활용한 기상파일을 이용하여 건물 에너지 성능해석을 수행하였고, 각 경우의 부분별 건물 에너지 소비량을 비교, 분석하였다. 이에 따른 건물 에너지 성능분석 시뮬레이션 결과를 종합하면 Table 4와 같다.

3. 건물 에너지 성능해석 분석결과

Fig. 2는 각 모델별로 예측한 시간당 수평면 전일사량을 포함한 기상파일을 외부조건으로, 일사열취득계수 및 창면적비의 변화를 고려하여 사무소건물의 에너지 성능분석 시뮬레이션을 수행한 결과에 의한 연간 에너지 소비량을 나타내고 있다. Fig. 2 (a)는 일사열취득계수를 0.4로 고정하고, 창면적비가 30%에서 50%로 커질 경우의 연간 에너지 소비량을 각 일사량 모델별로 나타낸 것이다. Fig. 2 (b)는 일사열취득계수가 0.6인 경우를, Fig. 2 (c)는 일사열취득계수가 0.8인 경우를 각각 나타낸다.

창면적비를 30%에서 50%로 변경하였을 때, Fig. 2의 (a)처럼 일사열취득계수가 0.4로 비교적 낮은 경우에는 5,200 MWh에서 6,400 MWh로 약 19%의 비교적 완만하게 증가하였던 연간 에너지 소비량이 (b)와 같이 일사열취득계수를 0.6으로 증가시키자 연간 에너지 소비량이 6,000 MWh에서 7,900 MWh로 약 24% 증가하였으며, (c)에서 일사열취득계수가 0.8로 높아짐에 따라 연간 에너지 소비량이 6,800 MWh에서 9,200 MWh로 약 26% 증가하였다. 따라서 일사열취득계수가 높을수록 창면적비와 시너지 효과를 내어 연간 에너지

소비량이 점차 증가하는 것을 볼 수 있다.

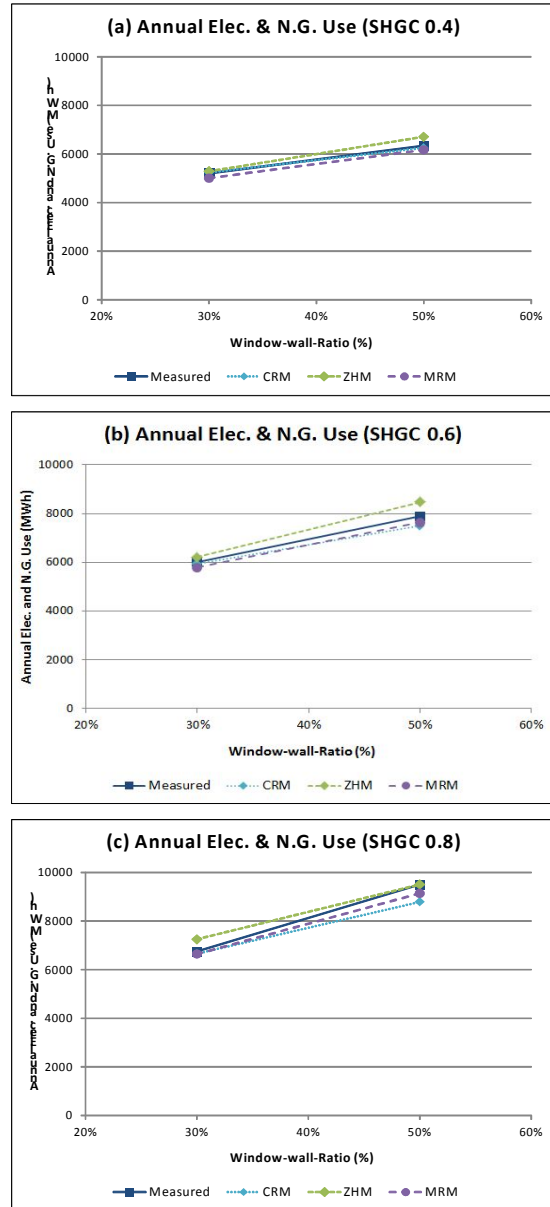


Fig. 2.. Simulated annual energy consumptions considering (a) 0.4, (b) 0.6 and (c) 0.8 of SHGC, and 30% & 50% of WWR based on four different solar radiation data

또한 창면적비가 30%인 경우에는 일사열취득계수가 0.4에서 0.6으로 증가하였을 때 연간

에너지 소비량이 5,200 MWh에서 6,000 MWh로 약 13% 증가하던 것이, 일사열취득계수가 0.6에서 0.8로 변화하였을 때에도 6,000 MWh에서 6,800 MWh로 약 13% 증가하여 일사열취득계수가 높아짐에 따라 건물의 에너지 소비량도 증가하는 경향을 나타낸 반면, 창면적비 50%에서는 일사열취득계수가 0.4에서 0.6, 0.8로 증가함에 따라 6,400 MWh이던 연간 에너지 소비량이, 7,900 MWh, 9,200 MWh로 증가하여 일사열취득계수의 증가에 대해 각각 19%, 14%의 증가를 보여 일사열취득계수가 높아질수록 연간 에너지 소비량이 오히려 감소하는 경향을 보였다. 이는 창면적비가 작을수록 일사열취득계수의 영향이 더욱 커진다는 사실을 보여준다.

일사량 산출모델별로 예측한 연간 에너지 소비량의 변화 역시 각각 일관되지 않는 경향을 보이는 것으로 나타났다. 일사열취득계수와 창면적비가 모두 작은 경우 (SHGC=0.4, WWR=30%)에는 산출모델별 수평면 전일사량의 차이에 의한 연간 에너지 소비량의 차이가 오차율 약 -0.6%에서 4%로 비교적 미세하였으나, 일사열취득계수가 높아지고, 창면적비도 커짐에 따라서 (SHGC=0.8, WWR=50%) 산출모델별 수평면 전일사량의 예측 오차에 의한 연간 에너지 소비량의 차이도 오차율 약 4%에서 8%까지 증가하였다.

그렇다면, 이 모든 경우에 있어서 실측 일사량을 이용한 경우의 건물 에너지 소비량 예측 결과에 가장 근접하는 일사량 산출모델은 무엇일까? 이 분석을 위해서 각 산출모델별 수평면 전일사량을 이용했을 경우의 월별 건물 에너지 소비량을 일사열취득계수 및 창면적비의 변화에 따른 각 항목별로 비교, 분석하였다. Table 4는 세 가지 예측모델에 의한 수평면 전일사량을 이용하여 사무소건물에 대한

건물 에너지 성능평가 시뮬레이션을 수행했을 경우의 월별 건물 에너지 소비량과 함께 실측 및 예측 수평면 전일사량을 이용하여 시뮬레이션한 각 항목별 월별 에너지 소비량의 오차를 백분율로 나타낸 것이다. 여기에서 회색으로 표시된 항목은 세 가지 예측모델 중에서 실측 일사량을 사용한 경우에 가장 근접한 모델을 의미한다.

분석 결과를 종합하면, 월별로 다소간의 차이는 있으나, 창면적비가 30%이고 일사열취득계수가 낮은 경우 (SHGC=0.4)에는 CRM (6, 7, 8, 9, 10, 11월)과 ZHM (1, 2, 3, 4, 5, 12월)이 실측 일사량을 이용한 건물 에너지 성능평가 결과에 가장 근접한 반면, 일사열취득계수가 높아짐 (SHGC=0.8)에 따라 CRM (1, 2, 3, 4, 11, 12월)과 함께 MRM (5, 6, 7, 8, 9, 10월)이 실측 일사량을 이용한 결과에 가장 근접한 것으로 나타났다. 또한, 창면적비가 50%이고 일사열취득계수가 낮은 경우 (SHGC=0.4)에는 대부분의 달에 있어서 CRM (1, 2, 3, 4, 5, 9, 11, 12월)이 가장 근접한 결과를 보인 반면, 일사열취득계수가 높아짐 (SHGC=0.8)에 따라 대체로 MRM (4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12월)이 가장 근접한 결과를 나타내었다. 이상의 결과는 수평면 전일사량의 영향이 적은, 즉, 창면적비와 일사열취득계수가 적은, 사무소건물인 경우에는 CRM과 ZHM이 높은 신뢰도를 보인 반면, 일사량의 영향이 커질수록 MRM이 상대적으로 다른 모델들보다 신뢰도가 높음을 보여준다. 이는 본 저자의 선행연구²⁾에서의 신뢰도가 우수한 수평면 전일사량 산출모델의 선정 결과와도 부합된 결과이다. 선행연구 과정에서 신뢰성이 높은 연간 수평면 전일사량 산출모델의 선정에서는 ZHM이 실측 일사량에 의한 결과와 오차율 1%로 가장 우수하였으며, 다음으로 오차율 -2%인 MRM,

Table 4. Comparison of monthly and percentage differences of office building energy consumption considering SHGC and WWR using three different solar radiation models. (The highlighted colors show the most accurate model in each month)

Month		Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Ann.	
WWR 30%	S H G C 0.4	Meas.	453	387	416	360	371	478	523	590	485	394	332	417	5206
		CRM	461 1.8%	393 1.6%	425 2.2%	364 1.0%	369 -0.6%	479 0.3%	521 -0.4%	586 -0.8%	490 1.0%	392 -0.4%	336 1.3%	422 1.3%	5239 0.6%
		ZHM	457 0.9%	388 0.2%	418 0.4%	364 0.9%	372 0.2%	492 2.9%	539 3.0%	602 2.0%	497 2.4%	401 1.7%	338 1.8%	420 0.7%	5287 1.5%
		MRM	436 -3.7%	371 -4.4%	401 -3.9%	344 -4.8%	352 -5.5%	459 -4.1%	509 -2.8%	573 -3.1%	470 -3.3%	376 -4.7%	316 -5.1%	399 -4.6%	5004 -4.0%
	S H G C 0.6	Meas.	477	424	465	416	442	577	630	698	584	468	379	459	6020
		CRM	485 1.6%	422 -0.4%	466 0.2%	411 -1.3%	428 -3.3%	564 -2.4%	609 -3.5%	672 -3.8%	577 -1.3%	458 -2.3%	376 -0.9%	456 -0.5%	5924 -1.6%
		ZHM	492 3.0%	433 2.1%	474 1.9%	426 2.4%	449 1.6%	607 4.9%	656 3.9%	720 3.1%	611 4.5%	490 4.5%	394 3.6%	471 2.6%	6224 3.3%
		MRM	459 -4.0%	406 -4.5%	445 -4.5%	397 -4.9%	419 -5.4%	558 -3.5%	609 -3.8%	676 -3.1%	567 -2.9%	453 -3.4%	362 -4.9%	438 -4.8%	5788 -4.0%
	S H G C 0.8	Meas.	504	464	509	463	500	662	726	798	670	532	420	498	6747
		CRM	512 1.6%	460 -1.0%	510 0.2%	458 -1.0%	487 -2.8%	649 -2.0%	703 -3.3%	773 -3.3%	666 -0.7%	524 -1.6%	418 -0.6%	496 -0.3%	6655 -1.4%
		ZHM	538 6.4%	486 4.6%	536 5.1%	491 5.8%	529 5.3%	726 8.8%	787 7.8%	857 6.8%	734 8.7%	583 8.7%	453 7.2%	529 6.0%	7248 6.9%
		MRM	490 -2.8%	449 -3.4%	495 -2.8%	450 -2.8%	487 -2.7%	659 -0.5%	721 -0.6%	794 -0.5%	673 0.3%	531 -0.3%	410 -2.5%	482 -3.2%	6641 -1.6%
WWR 50%	S H G C 0.4	Meas.	508	452	500	444	462	602	655	722	608	489	402	490	6334
		CRM	517 1.7%	452 0.0%	502 0.4%	440 -1.0%	450 -2.7%	589 -2.2%	633 -3.5%	696 -3.8%	601 -1.1%	481 -1.7%	402 -0.1%	488 -0.4%	6250 -1.3%
		ZHM	532 4.6%	472 4.2%	520 3.9%	465 4.6%	483 4.3%	650 7.4%	699 6.4%	762 5.2%	654 7.1%	528 7.4%	429 6.3%	513 4.6%	6708 5.6%
		MRM	492 -3.2%	437 -3.4%	484 -3.2%	429 -3.6%	445 -3.7%	591 -1.9%	641 -2.1%	705 -2.4%	599 -1.4%	482 -1.5%	390 -3.3%	473 -3.6%	6169 -2.7%
	S H G C 0.6	Meas.	578	538	596	544	586	779	851	932	789	622	489	577	7883
		CRM	569 -1.6%	517 -4.2%	579 -3.1%	519 -4.8%	550 -6.6%	733 -6.4%	791 -7.7%	866 -7.5%	751 -5.0%	592 -5.2%	472 -3.6%	558 -3.4%	7496 -5.2%
		ZHM	620 6.7%	565 4.8%	628 5.1%	576 5.6%	619 5.4%	854 8.7%	924 7.8%	1001 6.9%	863 8.6%	686 9.2%	528 7.5%	616 6.2%	8480 7.0%
		MRM	554 -4.3%	513 -4.9%	570 -4.6%	519 -4.8%	560 -4.6%	761 -2.4%	831 -2.4%	914 -2.0%	777 -1.6%	613 -1.6%	470 -3.9%	552 -4.7%	7634 -3.3%
	S H G C 0.8	Meas.	661	629	698	646	712	961	1055	1152	978	760	578	673	9503
		CRM	634 -4.2%	586 -7.5%	660 -5.8%	600 -7.7%	650 -9.5%	878 9.4%	951 -11%	1043 -11%	904 -8.1%	704 -7.9%	544 -6.3%	634 -6.2%	8788 -8.1%
		ZHM	707 6.6%	658 4.4%	737 5.2%	687 5.9%	756 5.8%	1058 9.2%	1148 8.1%	1240 7.1%	1073 8.8%	843 9.9%	627 7.9%	718 6.3%	10252 7.3%
		MRM	626 -5.5%	593 -6.1%	660 -5.7%	611 -5.8%	675 -5.4%	932 -3.1%	1024 -3.0%	1126 -2.3%	956 -2.3%	744 -2.1%	552 -4.8%	637 -5.6%	9137 -4.0%

그리고 오차율 -14%인 CRM인 것으로 나타난 반면, 월별 수평면 전일사량의 오차율에서는 대부분의 달에 있어서 (1, 2, 3, 4, 6, 7, 8,

9, 12월) MRM이 가장 우수한 모델인 것으로 나타났고, 그 외의 달 (5, 10, 11월)에 있어서는 ZHM이 실측값에 근접한 모델인 것으로

나타났다. 또한, 시간별 결과를 볼 경우, MRM의 경우에는 300 W/m^2 이하의 낮은 일사량의 경우를 제외하고는 산출된 값이 실측값과 매우 근사하게 나온 반면, ZHM의 경우는 실측값과 근사한 평균값을 나타내었으나 그 분산의 정도가 다른 모델에 비해서 상대적으로 높았던 것으로 나타났다. 이상의 결과로부터 확인할 수 있는 사실은, 시간별로 건물 에너지 소비량을 산출하는 건물 에너지 시뮬레이션 프로그램의 특성상, 각 시간별 예측 값의 분산도가 컸던 ZHM을 이용한 경우보다 MRM을 이용한 에너지 소비량의 산출이 실측 일사량을 사용할 수 없는 지역의 건물 에너지 성능평가의 오차를 크게 줄일 수 있으며, 기상데이터의 시간별 변동을 정확하게 예측하는 것이 얼마나 중요한가를 보여주는 의미 있는 결과라는 점이다.

4. 결 론

본 연구에서는 실측 및 세 종류의 일사량 예측모델로부터 산출한 시간당 수평면 전일사량을 이용하여 부산지역에 위치한 표준형 사무소 건물의 에너지 성능평가 결과를 일사열취득계수 및 창면적비의 변화에 따라 정량적으로 비교, 분석하였다. 그 결과, 다음과 같은 사실을 도출하였다.

- (1) 건물 에너지 성능평가에 있어서 수평면 전일사량의 영향이 적은 경우, 즉 창면적비 및 일사열취득계수가 작은 경우에는, 예측모델별 수평면 전일사량의 정밀도 차이에 의한 건물 에너지 소비량의 오차에 미치는 영향이 $-0.6\% \sim 4\%$ 로 비교적 적은 것을 알 수 있었다. 반면, 창면적비 및 일사열취득계수가 커짐에 따라, 산출모델별 정밀도 차이에 의한 건물의 에너지 소비량의 차이

가 약 4%에서 8%까지 크게 증가함을 알 수 있었다.

- (2) 사무소건물의 창면적비 및 일사열취득계수의 변화에 따른 적절한 수평면 전일사량 예측모델은 다음과 같았다. 일사량의 영향이 비교적 적은, 즉 창면적비가 30%이고 일사열취득계수가 0.4인 경우에는 CRM, ZHM이 실측 일사데이터를 사용한 성능평가 결과에 가장 근접한 모델인 반면, 건물에서의 일사량 영향이 커짐에 따라, 즉 창면적비가 50%이고 일사열취득계수가 0.8인 경우에는 MRM이 가장 적절한 모델인 것으로 나타났다.
- (3) 시뮬레이션 결과의 다양한 양상의 원인은 여러 요인에 근거하겠으나, 일사량의 예측이 CRM의 경우 운량에 의존하나, MRM의 경우에는 운량과 함께 일조율, 건구온도, 습구온도, 대기압 등의 기상정보를 토대로 하고 있어 이에 의한 영향이 작용한 것으로 보인다.

이상의 분석결과를 예측모델을 활용한 일사데이터 파일을 사용하여 건물 에너지 성능분석을 하는 경우 다음과 같은 중요한 사항을 고려할 필요가 있다는 사실을 나타낸다. 1) 건물 에너지 시뮬레이션 프로그램에 사용되는 일사데이터는 실측 일사량의 시간별 경향을 정확하게 예측하는 것이 단순한 통계적 수치가 높은 데이터를 활용하는 것보다 중요하다. 2) 일사데이터의 정밀도는 건물 에너지 분석 결과의 정밀도와 비례적 관계를 가지지 않으며, 일사량을 예측하는 모델의 산출방법 및 산출에 적용되는 기상 데이터의 항목에 따라 다양한 방향으로 영향을 미칠 수 있다. 3) 계절에 따른 적합한 일사모델의 선택적 활용이 가능한 일사데이터는 건물 에너지 사용량의 분석결과와 정밀도를 크게 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구는 개구부의 면적비 및 일사열취득계수의 변화에 따른 수평면 전일사량 예측모델별 예측 일사량의 오차가 건물 에너지 성능에 미치는 영향에 대한 실험적 분석이었으나, 향후 기상과일에 포함되는 ‘법선면 직달일사량’의 산출모델에 대한 실제적 신뢰도 검증과 예측 직달일사량의 오차가 건물의 에너지 성능평가에 미치는 영향에 대한 보다 세밀한 검토가 필요한 것으로 보인다.

Northwest National Laboratory (PNNL), 2009.
7. Deru, M., Energy savings modeling and inspection guidelines for commercial building federal tax deductions, 2nd Ed. Technical Report NREL/TP-550-40467, National Renewable Energy Laboratory (NREL), 2007.

참 고 문 헌

1. Lee, K.H., Sim, K.Y., Analysis and calculation of global hourly solar irradiation based on sunshine duration for major cities in Korea, Journal of the Korean Solar Energy Society, pp.16~21, Vol.30, 2010.
2. Kim, K.H., Oh, K.W., Comparison analysis of estimation models of hourly horizontal global solar radiation for Busan, Korea. Journal of the Korean Solar Energy Society, pp.34~40, Vol.33, 2013.
3. Krarti M., Huang J., Seo, D., Dark J., Development of Solar Radiation Models for Tropical Locations, ASHRAE Project RP-1309, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, 2006.
4. Kim, K.H., Oh, K.W., Impact by estimation error of hourly horizontal global solar radiation models on building energy performance analysis. Journal of the Korean Institute of Ecological Architecture and Environment, Unpublished.
5. KEMC. Design Standard Guideline for Building Energy Saving, Korean Energy Management Corporation (KEMC), 2011.
6. Gowri, K., Winiarski, D., Jarnagin, R., Infiltration modeling guidelines for commercial building energy analysis, Report PNNL-18898, Pacific