

국내 주요도시의 표준기상자료를 이용한 시간당 표면온도 산출 및 분석

이관호*, 조현철**

*울산과학기술대학교 공간디자인학부(ghlee@uc.ac.kr),
**울산과학기술대학교 전기전자학부(hcjo@uc.ac.kr)

Analysis and Calculation of Hourly Surface Temperature Based on Typical Meteorological Data for Major Cities in Korea

Lee, Kwan-Ho* Cho, Hyun-Cheol**

*School of Space Design, Ulsan College(khlee@uc.ac.kr),
**School of Electricity & Electronics, Ulsan College(hcjo@uc.ac.kr)

Abstract

Computer simulation of buildings and solar energy systems is being used increasingly in energy assessments and design. The purpose of our work is to predict the surface temperature on inclined surfaces based on ISO-TRY typical weather data. To reach this goal, three studies were performed. They consisted of quantifying the accuracy of various well-known three models. The first type of models calculated diffuse horizontal irradiances from global ones and the second type models computed global irradiances on inclined planes from diffuse and global components on a horizontal surface. The third type of model calculated long-wave radiation and surface temperature from ISO-TRY typical weather data. The proposed model can provide an alternative to building designers in estimating the surface temperature and solar irradiation on inclined surfaces where only the typical meteorological data are available.

Keywords : 시간당 표면온도(Hourly Surface Temperature), 표준년기상자료(Typical Meteorological Data), 단파장 전일사(Short-wave Global Irradiance), 장파장복사교환(Long-wave Radiation Exchange)

기 호 설 명

		$I_{R,\beta,\alpha}$: 경사면의 반사일사량 (W/m^2)
		$I_{\beta,\alpha}$: 경사면의 전일사량 (W/m^2)
$I_{B,\beta,\alpha}$: 경사면의 직달일사량 (W/m^2)	L_g	: 지면의 장파장복사 (W/m^2)
$I_{D,\beta,\alpha}$: 경사면의 산란일사량 (W/m^2)	L_{sky}	: 하늘의 장파장복사 (W/m^2)

submit date : 2012. 3. 22, judgment date : 2012. 3. 29, publication decide date : 2012. 6. 2
communication author : Lee, Kwan-Ho(khlee@uc.ac.kr)

- $L(\beta)$: 경사면의 장파장복사 (W/m^2)
- MBE : Mean Bias Error(%)
- N : 운량(OCTA)
- p_w : 수증기압(hPa)
- RMSE : Root Mean Square Error (%)
- S_h : 시간당 일조율
- T_{co} : 표면온도 (K)
- T_a : 외기온도 (K)
- ν : 풍속 (m/s)
- α : 경사면의 방위각 (°)
- β : 표면경사 (°)
- γ_s : 태양고도 (°)
- ρ_g : 지면 반사율
- σ : Stefan-Boltzman 상수

1. 서 론

기후의 변화는 인간생활의 가장 기본적인 부분에서부터 기타 미세한 부분까지의 영향을 미치고 있다. 이러한 기후변화에 대처하기 위한 국제적인 협력 및 연구가 국내외에서 활발히 진행 중이다. 특히 건물 에너지 해석을 위한 프로그램의 사용 및 신재생에너지 시스템의 건축물 적용이 확대되고 있는 시점에서 이의 정확한 효율분석에 필요한 시간당 표면온도 데이터가 요청된다. 이러한 표면온도 예측을 위해서 표준기상데이터를 사용과 경사면의 일사량 예측이 선결조건이다. 그러나 경사면 일사량에 필요한 직달일사량 측정은 선진국에 집중되어 있으며, 선진국 내에서도 일부 지역에 편중되어 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 표면온도 데이터 산출을 위한 기초자료 마련을 위해, 여러 가지 모델 중 비교적 간단한 등방성(isotropic) 일사량산출 모델과 CIBSE Guide J(2002) 방법을 통하여 경사면 표면온도를 산출하고자 한다. 이를 위해, 수평면 전일사가 측정되고 있는 6개 주요도시의 표준년기상자료를 통하여 예측값을 산출하고, 실측값과 비교, 분석을 통하여 ISO-TRY 표준년기상자료를 이용한

시간당 표면온도 산출방법을 평가하고자 한다. 본 연구에서 제안된 방법은 표준년기상자료를 통하여 경사면 일사량 및 표면온도를 예측하여 건물에너지성능 및 신재생에너지 효율평가의 대안을 제시할 것이다.

2. 표면온도산출을 위한 데이터

2.1 산출대상 지역

현재 기상관측은 본청(서울) 1개소를 비롯하여 총 79개소에서 측정되고 있으나, 일사의 경우 22개소에 불과한 실정이다. 본 논문에서는 서울 및 5개 광역시를 대상으로 ISO-TRY를 이용한 표준기상데이터를 이용하여 표면온도를 산출하여 실측값과 비교하고자 한다. 대상지역은 다음 그림 1 및 표 1과 같다.

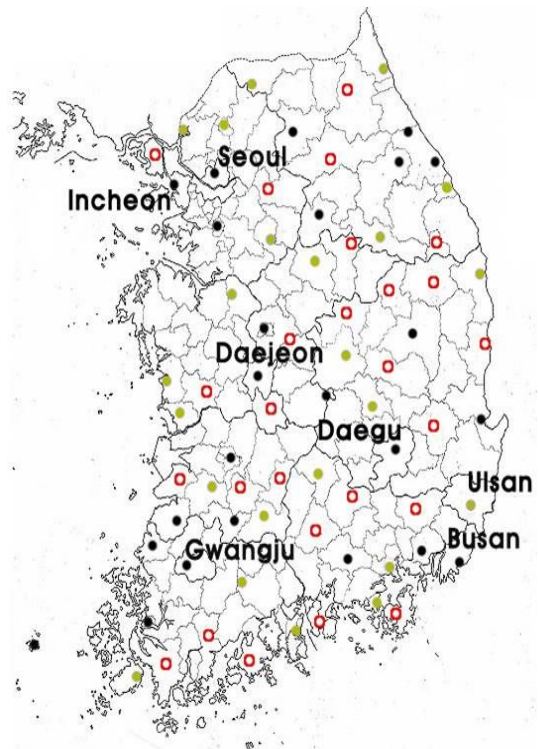


Fig. 1 Location of weather files locations (● sunshine duration, cloud cover and global solar radiation measurement)

Table 2. Geographical data and weather database

Region	Latitude (N)	Longitude (E)	ISO-TRY	
			Solar radiation	Temperature
Seoul	37.34	126.58	○	○
Busan	37.29	126.38	○	○
Deagu	35.53	128.37	○	○
Deajeon	36.18	127.24	○	○
Gwangju	35.08	126.55	○	○
Busan	35.06	129.02	○	○

2.2 산출 데이터

본 연구에서는 Lee et.al. (2010)의 ISO-TRY를 이용한 표준기상데이터의 온도, 수증기압, 운량, 일조, 풍속 및 일사의 시간별 데이터를 이용하여 표면온도를 산출하였다. 여기서 사용된 일사데이터는 MJ/m²를 W/m²로 환산하였고, 풍속은 m/s를 사용하였다.

3. 표면온도산출 및 평가 방법

3.1 단파장 전일사 (short-wave global irradiance) 산출 방법

경사각 β로 입사하는 단파장 전일사는 직달일사, 산란일사 및 반사일사로 구성되어 있다. 태양의 위치 및 경사표면에 대한 각도는 그림 2와 같다. 이러한 일사요소를 이용하여 경사표면에 입사되는 시간당 전일사량 I_{β,α}를 구하였다.

$$I_{\beta,\alpha} = I_{B,\beta,\alpha} + I_{R,\beta,\alpha} + I_{D,\beta,\alpha} \quad (1)$$

여기서 I_{B,β,α} : 경사면의 시간당 직달일사량
 I_{R,β,α} : 경사면의 시간당 반사일사량
 I_{D,β,α} : 경사면의 시간당 산란일사량

$$I_{B,\beta,\alpha} = I_B / \sin \gamma_s \quad (2)$$

$$I_{R,\beta,\alpha} = I_G \times \rho_g \times (1 - \cos \beta) / 2 \quad (3)$$

여기서 I_B : 수평면 직달일사량 (W/m²)
 I_G : 수평면 전일사량 (W/m²)

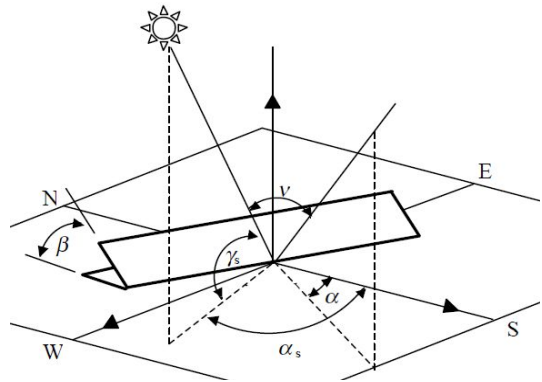


Fig. 2 definition of angles used to describe solar position, orientation and tilt

- γ_s : 태양고도 (°)
- β : 표면경사 (°)
- ρ_g : 지면 반사율

경사표면의 시간당 산란일사량을 구하는 방법으로는 등방성(isotropic) 및 이방성(anisotropic) 모델이 있는데 본 연구에서는 등방성 모델을 이용하여 산란일사량을 산출하였다.

$$I_{D,\beta,\alpha} = I_D \times (1 - \cos \beta) / 2 \quad (4)$$

여기서 I_D : 수평면 산란일사량 (W/m²)

직달일사량이 측정되고 있지 않는 지역 및 누락된 일사데이터 산출을 위하여 다양한 모델들이 사용되고 있다. 대표적으로 Orgill & Hollands(1977), Erbs et al.(1982), Reindl et al.(1990), CIBSE Guide J(2002) 방법들이 있다. 그 중에서 CIBSE Guide J(2002) 방법을 이용한 시간당 산란비율 및 선명도를 이용하여 직달일사량을 산출하였다.

$$k = 0.687 + 2.932k_t - 8.546k_t^2 + 5.227k_t^3 \quad (5)$$

$$k = 0.98, \quad k_t \leq 0.2 \quad (6)$$

$$I_D = I_G \times k \quad (7)$$

$$I_B = I_G - I_D \quad (8)$$

여기서 k : 시간당 산란비율 (I_D/I_G)
 k_i : 시간당 선명도 (I_C/I_O)
 I_o : 대기복사 (W/m^2)

3.2 장파장 복사교환 (long-wave radiation exchange) 산출 방법

경사각 β 표면의 장파장 복사교환은 하늘로부터 직접 유입되는 대기 장파장 복사, $L_{sky}(\beta)$ 와 지면으로부터 유입되는 장파장 복사, $L_g(\beta)$ 및 표면에서 방사되는 장파장복사로 구성되어 있다.

$$L(\beta) = \epsilon_1 (L_{sky}(\beta) + L_g(\beta) - \sigma T_{eo}^4) \quad (9)$$

여기서 ϵ_1 : 장파장 표면 방사율
 σ : Stefan-Boltzman 상수
 $(5.6697 \times 10^{-8})(W/m^2/K-4)$
 T_{eo} : 표면온도 (K)

$$L_{sky}(\beta) = L_{sky}r_{sky} + 0.09k_3 \times \sigma T_a^4 \times [1 - (N/8)[0.7067 + 0.00822(T_a - 273.15)]] \quad (10)$$

$$L_g(\beta) = L_g r_g \quad (11)$$

여기서 L_{sky} : 수평면 하늘의 장파장 복사(W/m^2)
 L_g : 수평면 지면의 장파장 복사(W/m^2)
 r_{sky} : 하늘형 태계수
 r_g : 지면형 태계수
 k_3 : 경사각 β 의 함수
 N : 운량(okta)
 T_a : 외기온도 (K)

수증기압, 시간당 일조율 및 수평면 전일사량을 이용하여 수평면 하늘과 지면의 장파장 일사를 산출하였다.

$$L_{sky} = \sigma T_a^4 \times [0.904 - (0.304 - 0.061p_w^{1/2})S_h - 0.05p_w^{1/2}] \quad (12)$$

$$L_g = \sigma [0.980 T_a + 0.037(1 - \rho_g)I_G]^4 \quad (13)$$

여기서 p_w : 수증기압(hPa)
 S_h : 시간당 일조율

3.3 표면온도 산출 방법

경사각 β 와 향 α 인 표면온도는 표면 열평형을 이용하여 산출할 수 있다.

$$\alpha_{rad} I_{\beta, \alpha} + L(\beta) = h_c (T_{eo} - T_a) + E \quad (14)$$

$$h_c = 4 + 4\nu \quad (15)$$

여기서 α_{rad} : 단파장 표면흡수율
 h_c : 풍속에 따른 외표면 대류계수
 E : 구조체의 열흐름 (W/m^2)
 ν : 풍속 (m/s)

태양광 및 태양열을 이용하는 시스템을 제외하면 $E=0$ 이므로 공식 (9) 및 (14)를 이용하여 4차 비선형방정식으로 변환할 수 있다.

$$\left(\frac{\sigma T_{eo}^4}{h_c}\right) + T_{eo} - T_a \{ \alpha_{rad} I_{\beta, \alpha} + \epsilon_1 [L_{sky}(\beta) + L_g(\beta)] \} / h = 0 \quad (16)$$

3.4 표면온도의 평가방법

본 연구에서 사용된 표면온도산출방법의 타당성을 평가하기 위해 RMSE: (Root Mean Squares for Error)와 MBE (Mean Bias Error)를 구하였다.

$$MBE = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (T_{j,c} - T_{j,m}) \quad (17)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (T_{j,c} - T_{j,m})^2} \quad (18)$$

여기서 MBE는 모델화한 회귀 방정식의 장기성능에 대한 정보를 제공한다. 양의 MBE값은 실측치와 비교하여 표면온도가 과대평가한 것이다. RMSE는 단기성능에 대한 정보를 제공하고, 선형회귀 방정식의 분산을 보여준다.

4. 표면온도 산출결과

4.1 측정 및 산출 표면온도 비교결과

측정 및 산출 표면온도 비교하기 위하여 건천지역에 구릉지(나지)에 설치된 태양광 발전의 2011년 6, 7, 9월 측정 자료를 이용하였다. 측정 및 산출 결과를 비교해 보면, 단파장 전일사 및 장파장 복사교환을 고려한 방법은 시간 당 표면온도를 구하는데 효과적인 방법임을 알 수 있었다. 대구 기상청의 기후자료를 이용한 표면온도 예측의 R² 값은 0.81-0.92 이었고, 건천지역의 현장 측정 기후자료를 이용한 R² 값은 0.88-0.95 로 상관관계가 있음을 알 수 있었다.

표 2은 건천 태양광 표면온도 예측 MBE/RMSE 값으로 본 연구에서 제시한 방법을 이용한 시간당 표면온도 산출방법의 타당성을 보여주고 있다. 건천 태양광 현장의 측정값을 이용한 표면온도 예측 평균 MBE는 -0.15°C (-0.81%) 이었고, 평균 RMSE는 5.64°C (23.50%) 이었다. 여기서 대구 기상청 기상자료를 이용한 표면온도 예측 MBE 값이 건천지역 보다 상대적으로 높은 것은 대도시의 열섬현상에 의한 영향이라고 사료된다. 이상의 결과로부터 본 연구의 방법은 ISO- TRY를 이용한 표준기상 데이터의 온도, 수증기압, 운량, 일조, 풍속 및 일사의 시간별 데이터를 이용하여 표면온도를 예측하는 유용한 도구임을 알 수 있었다.

Table. 2 MBE/RMSE of predicting surface temperature in Guncheon

		MBE		RMSE	
		°C	%	°C	%
June	Deagu	4.28	17.40	6.10	29.31
	Guncheon	0.72	2.92	5.64	22.97
July	Deagu	3.61	13.62	6.18	23.79
	Guncheon	-0.03	-0.10	5.06	19.07
Semptember	Deagu	4.54	20.81	7.08	33.34
	Guncheon	-1.15	-5.25	6.22	28.47
Average	Deagu	4.14	17.28	6.45	28.81
	Guncheon	-0.15	-0.81	5.64	23.50

4.2 주요 대도시의 표면온도 산출

일사가 측정되고 있는 서울 외 5개 대도시의 경사표면 단파장일사의 변화량을 식(1)을 통해 구할 수 있으며 식(9)을 이용하여 경사표면의 장파장복사교환을 산정할 수 있다. 식(16)을 이용하여 남향 수직벽의 주요도시의 계절별 평균 표면온도를 산출하였다.(표 3 참조)

Table. 3 Generation of surface temperature of southern vertical wall for major cities

Region	Winter(°C)		Summer(°C)	
	Air temperature	Surface temperature	Air temperature	Surface temperature
Seoul	0.20	4.66	24.32	29.18
Incheon	-0.67	3.14	23.01	27.51
Deajeon	0.70	7.03	24.37	29.45
Deagu	2.47	7.15	25.16	29.84
Gwangju	2.78	8.87	24.82	30.20
Busan	5.29	9.78	23.84	27.77
Average	1.80	6.77	24.25	28.99

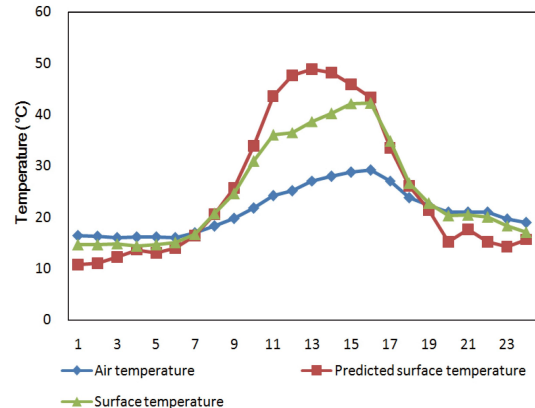


Fig. 3 Comparison of surface temperatures between Predicted and measured data

그림 3은 건천 태양광의 6월 4일 하루 24시간 동안의 외기온도와 표면온도 변화량을 보여주고 있다. 예측 및 실측 하루 평균 표면온도차가 미미하였지만 시간당 차이가 상당하므로 시간당 예측의 필요성 및 표면온도에 대한 정밀한 실험이 요청된다.

5. 결 론

건물 에너지 해석을 위한 프로그램의 사용 및 신재생에너지 시스템의 건축물 적용이 확대되고 있는 시점에서 이의 정확한 효율분석을 필요한 시간당 표면온도 데이터가 요청된다. 따라서 본 연구에서는 표면온도 데이터 산출을 위한 기초자료 마련을 위해, 여러 가지 모델 중 비교적 간단한 등방성(isotropic) 일사량산출 모델과 CIBSE Guide J(2002) 방법을 통하여 경사면 표면온도를 산출하였다. 이에 대한 결론은 다음과 같다.

- (1) 본 연구에서 ISO TRY 표준년기상데이터를 통해 산정한 표면온도와 실측된 표면온도를 비교해 상관관계가 강한 것으로 나타났다.
- (2) 건청 태양광 측정값을 이용한 표면온도 예측 방법은 MBE에서 -1.15~0.72% 정도의 오차를 나타내었고, RMSE에서 19.07%~28.47%의 오차를 보였다.
- (3) 본 연구를 통해 산출되어진 표면온도는 건물에너지성능 및 신재생에너지 효율평가를 위한 기초자료로 이용될 수 있을 것으로 판단된다.

본 논문에서는 표준년기상자료와 비교적 간단한 계산식을 적용하여 각 지역의 표면온도를 산출하였다. 그러나 보다 정확한 시간당 표면온도 데이터의 산출을 위해 경사면의 일사량을 측정할 필요가 있으므로, 추후 연구에서는 이를 고려한 표면온도의 산출이 이루어져야 할 것으로 판단된다. 또한 예측 및 실측 하루 평균 표면온도차가 미미하였지만 시간당 차이가 상당하므로 시간당 예측의 필요성 및 표면온도에 대한 정밀한 실험 및 본 연구의 이론식과 다양한 지역의 측정값과의 면밀한 분석을 추후 연구할 것이다.

후 기

이 논문 또는 저서는 2011년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(2011-0026858)

References

1. CIBSE Guide J, Chartered Institution of Building Services Engineers, London. (2002)
2. Erbs, D.G., Klein, S.A., Duffie, J.A., 「Estimation of the diffuse radiation fraction for hourly, daily and monthly-average global radiation」, 28, 4, 293-302, (1982)
3. Duffie, J.A. & Beckman, W.A., Solar engineering of thermal processes, Wiley, 759-761, (2006)
4. Kalogirou, S.A., Solar energy engineering processes and system, Academic Press, 503-507, (2009)
5. Lee, K., Yoo, H., Levermore, G.J., 「Generation of typical weather data using the ISO Test Reference Year (TRY) method for major cities of South Korea」, Building and Environment, 45, 956-963, (2010)
6. Orgill, J.F., Hollands, K.G.T., 「Correlation equation for hourly diffuse radiation on a horizontal surface」, Solar Energy, 19, 4, 337-359, (1977)
7. Reindl, D.T., Beckman, W.A., Duffie, J.A., 「Diffuse fraction correlations」, Solar Energy, 45, 1, 1-7, (1990)
8. Eicker, U., Solar technologies for buildings, Wiley, 228-231, (2001)