

방위별 수직면, 수평면 일사량에 관한 연구

유호천*, 신인환**, 황현석**

*울산대학교 건축학부 교수(hcyoo@mail.ulsan.ac.kr)

**울산대학교 건축학부 대학원(picil45@nate.com)

The analysis of amount of solar irradiation of vertical and horizontal surface per azimuth

Yoo, Ho-Chun*, Shin, In-Hwan** Hwang, Hyun-Suk***

*School of Architecture, University of Ulsan(hcyoo@mail.ulsan.ac.kr)

**School of Architecture, Graduate School, University of Ulsan(picil45@nate.com)

Abstract

We measured a solar irradiation of vertical and horizontal surface per azimuth in southern area of Korea using pyrhelimeter. In comparison with the provided data from ASHRAE and CIBSE, the average amount of solar irradiation has much variation of 10 to 150% in reference with north direction. In the clear day, the measured value has much difference with the value of ASHRAE and there is similar trend in case of CIBSE. The reason why amount of irradiation of clear day is differ from the average value, is able to be assumed that the value of ASHRAE and CIRSE is made of assumption based on clear days.

The result of analysis of ASHRAE and CIBSE values according to the amount irradiation value for vertical and horizontal surface per azimuth using the MBE, RSME, and t-Statistic show that the CIBSE value has more reliability for the MBE, RMSE, and t-Statistic values than ASHRAE value.

Keywords : 방위별 일사량(Surface azimuth Solar Irradiation), ASHRAE 모델(ASHRAE Model), CIBSE 모델(CIBSE Model)

기 호 설 명

Θ	: 입사각	Θ_z	: 천정각
α_s	: 태양고도	β	: 표면구배
ρ	: 대지 반사율		
A	: apparent solar constant		
B	: atmospheric extinction coefficient		
C	: sky diffuse factor		
Y	: ratio of vertical/horizontal sky diffuse		

1. 서 론

국내 1차 에너지 소비 동향을 살펴본다면 2009년 기준 구성비는 2.2%로 매우 낮은 비율을 보이고 있다.¹⁾ 그러나 2008년 이후 정부의 친환경 녹색 에너지 기술개발 및 보급 확대 정책에 따라 태양열, 태양광, 풍력, 지열, 핵융합 등의 기술 개발 및 보급이 활발히 이

교신저자 : 유호천(hcyoo@mail.ulsan.ac.kr)

1) 한국 에너지 기술연구원, 에너지 통계 연보, 2010.

루어지고 있다. 이 중 태양광, 태양열 이용기술은 건물 분야에 있어서 실용화가 두드러져 많은 활용이 기대 되고 있다. 이에 따라 태양에너지 시스템의 설계 자료로서 정확도 높은 일사자료가 매우 절실히 요구된다. 태양에너지 시스템의 열적성능에 설치 향에 따른 태양에너지의 양에 크게 영향을 받기 때문에 일사량 데이터는 매우 중요하다. 본 연구에서는 이와 같은 중요성을 감안하여 방위별 태양에너지 실측과 이론값을 통해 시스템 이용 및 설계자들에게 설계기준을 제시하고자 한다.

2. 일사량 데이터의 수집

일사량은 실측값과 Guide book의 제공값, 으로 비교해 보았으며, 요소로는 수평면 전일사량, 동(E), 서(W), 남(S), 북(N)의 수직면 일사량을 대상으로 하였다.

2.1 실측 개요

측정지에서 일사센서를 설치할 입지는 센서의 감지부 면이 태양광선이 주위로부터 간섭이 없는 곳을 물색하여야 한다. 조건으로는 센서의 위치는 설치면 바닥으로부터 1.2m 이상 떨어져 있어야 하며, 수평방향에 5° 이상 높이에 장애물이 없어야 한다.²⁾



그림 1. 측정 중인 일사계

2) 조덕기 외, 방위별 경사면일사량 분석에 관한 연구, 한국태양에너지학회 논문집, 제21권 제 3호, 2001, pp.20

따라서 이와 같은 사항을 고려하여 측정기는 울산대학교 건축대학 옥상(35° 32' N, 129° 15', H 38m)에 설치하였으며, 측정 일사계는 KIPP & ZONEN의 CMP-21으로 수평면, 동(E), 서(W), 남(S), 북(N)으로 총 5개 센서를 설치하였으며, 2011년 7~ 9월의 3개월간의 시간당 일사량을 측정하였다.

2.2 이론적 개요

(1) ASHRAE 모델

ASHRAE 모델은 매월 21일을 기준으로 위도별 청명한날 기준으로 월평균 직달일사(E_D), 산란일사(E_d), 전일사(E_t)의 값을 제공한다.

$$E_{DN} = A \exp(-B/\sin \beta) \quad (1)$$

$$E_D = E_{DN} \cos \theta \quad (2)$$

$$E_d = CY E_{DN} \quad (3)$$

$$E_t = E_D + E_d \quad (4)$$

(2) CIBSE 모델

CIBSE 모델 역시 위도별 청명한날 기준으로 직달일사($B_h(\beta, \alpha)$), 산란일사($D_h(\beta, \alpha)$), 반사일사($R_{gh}(\beta, \alpha)$), 전일사($G_h(\beta, \alpha)$)에 대한 값을 제공한다.

$$G_h(\beta, \alpha) = B_h(\beta, \alpha) + D_h(\beta, \alpha) + R_{gh}(\beta, \alpha) \quad (5)$$

$$B_h(\beta, \alpha) = B_{nh} \cdot \cos \nu(\beta, \alpha) \quad (6)$$

$$D_h(\beta, \alpha) / D_h = 0.628(1 - K_b) + K_b \cos \nu(\beta, \alpha) / \sin \gamma_s \quad (7)$$

$$R_{gh}(\beta, \alpha) = r_g \rho_g G_h \quad (8)$$

직달일사($B_h(\beta, \alpha)$)는 법선면 직달일사(B_{nh})와 표면에 발생각($\cos \nu(\beta, \alpha)$)으로 계산되어지고, 산란일사($D_h(\beta, \alpha)$)는 모듈레이션 함수(K_b)와 표면각에 따른 산란일사 함수($f(\beta)$)와 수평면 확산일사(D_h)을 통해 계산되어진다. 반사일사($R_{gh}(\beta, \alpha)$)의 경우에는 바닥 반사정도(ρ_g)과 대지경사 인자(r_g)와 바닥에 떨어지는 시간당 일사량(G_h)을 통해 계산된다.

3. 일사량 데이터의 처리

실측된 자료와 ASHRAE 모델과 CIBSE 모델 7월, 8월, 9월 각달을 비교 분석을 해보았다. 우선 ASHRAE 모델은 위도 32°, 40°와 CIBSE 모델에는 30°, 40° 위도별 값이 제공된다. 하지만 실측된 위치의 위도는 35° 32' 이므로 각 모델별로 선형 보간을 통하여 값을 보정을 하였다.

제공되는 값은 청명한 날(Clearless day)를 기준으로 만들어진 값이므로 실측된 값과는 많은 오차가 발생할 것이다. 하지만 월평균 하루 값과 운량이 제일 적인 날을 기준으로 비교 분석을 해보았다.

측정된 일사량과 이론으로 제공되어지는 값을 신뢰도 있는 통계를 하기 위하여 MBE(Mean Bias Error) 및 RMSE(Root Mean Squares for Error), t-Statistic으로 통계적 신뢰성을 검토 하였다.

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n (\overline{H_{pred,i}} - \overline{H_{obs,i}})}{n} \quad (9)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\overline{H_{pred,i}} - \overline{H_{obs,i}})^2}{n}} \quad (10)$$

$$t = \sqrt{\frac{(n-1)MBE^2}{RMSE^2 - MBE^2}} \quad (11)$$

여기서,

$\overline{H_{pred,i}}$: 예측 월평균 전일사량의 i번째 값

$\overline{H_{obs,i}}$: 실측 월평균 전일사량의 i번째 값

n : 데이터의 양

4. 실험결과 및 고찰

(1) 방위별 월평균 일사량

울산대학교(35° 32' N, 129° 15', H 38m)가 위치한 울산지역의 매시간 측정된 자료를 AHRAE 모델과 CIBSE 모델의 각 방위별 수직면, 수평면 일사량을 분석하여 보았다.

표 1. 방위별 월평균 수직면일사량 (단위 : kW/m²)

		N	E	S	W	Hor
7월	실측값	2.23	2.93	2.45	2.43	5.54
	ASHRAE	0.71	3.13	1.00	0.57	3.40
	CIEBE	1.49	3.33	3.79	3.32	5.61
8월	실측값	1.70	2.55	2.29	1.97	4.60
	ASHRAE	0.52	2.92	1.36	0.50	3.03
	CIEBE	1.36	3.75	4.32	3.75	6.17
9월	실측값	1.47	2.81	3.11	2.17	4.73
	ASHRAE	0.38	2.52	2.08	0.38	2.44
	CIEBE	1.26	4.08	4.52	3.28	6.72

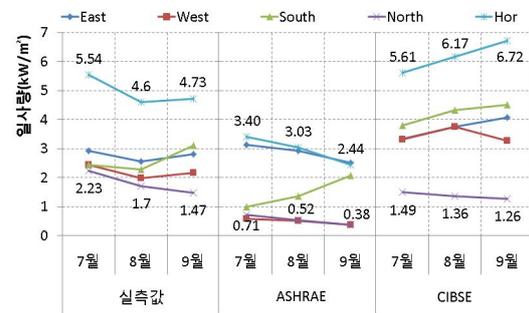


그림 2. 방위별에 따른 월평균 일사량

실측값 7월을 기준으로 동향은 최대 139%, 최소 86%, 서향은 최대 154%, 최소 16%, 남향은 최소 17%, 북향은 최대 184%, 최소 41%, 수평면은 최대 121%, 최소 44%에 이르기 까지 폭 넓은 값을 볼 수 있다.

표 2. 실측 및 이론값의 평균일사량 오차율 (단위 : %)

		N	E	S	W	Hor
7월	ASHRAE	68.09	6.92	59.20	76.50	38.56
	CIEBE	33.21	13.60	54.96	37.00	1.32
8월	ASHRAE	69.28	14.32	40.50	74.62	34.09
	CIEBE	20.07	47.08	88.32	90.81	33.91
9월	ASHRAE	73.88	10.19	33.21	82.13	48.40
	CIEBE	14.04	44.96	45.08	51.36	42.19

오차율은 각 월별 실측값을 기준으로 작성 하였으며, 오차율로만 봤을때는 ASHRAE가 상대적으로 CIBSE에 비해 신뢰도가 있다고 볼 수 있다.

(2) 방위별 청명일 수직면 일사량

실측기간 동안 청명한 날은 9월에 4개의

일이 있고, 22일이 제일 청명한 날로 운량값이 10분법으로 0.1의 값이 나왔다. 실측한 청명한 하루의 일사량과 ASHRAE, CIBSE값을 비교 분석하였다.

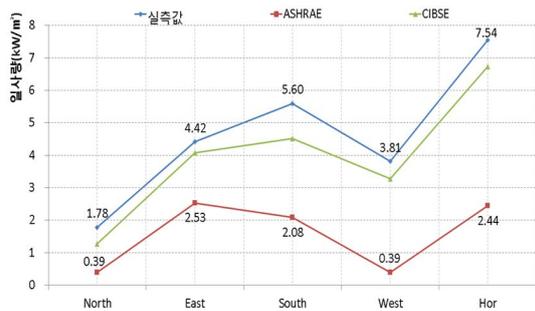


그림 3. 방위별 일사량(청명일) 비교

실측값 기준으로 비교하였을시, ASHRAE 일사량은 실측값에 비해 낮은 값을 확인할 수 있었으나, 그래프의 개형은 유사함을 볼 수 있었다. 하지만, CIBSE는 그래프 개형이 실측값과 매우 유사함을 볼 수 있다.

표 4. 실측 및 이론값의 일사량(청명일) 오차율(단위:%)

	N	E	S	W	Hor
ASHRAE	78.34	42.74	62.79	89.81	67.63
CIEBE	28.90	7.58	19.19	13.73	10.81

단순 비교를 하였을시, AHRAE 값은 평균 68.27%의 오차율을 보였고, CIBSE 값은 평균 16.04%의 오차율을 보였다. 단순 비교를 하였을 시에 CIBSE의 제공값이 상대적으로 오차율이 52.22% 적게 나와 실측과 유사함을 보였다.

표 5. MBE, RMSE, t-Statistic 비교 (단위 : kW/m²)

MBE	N	E	S	W	Hor
ASHRAE	-36.9	29.7	-61.4	-104.4	-101.6
CIBSE	-24.7	-17.5	-45.4	-23.9	-34.8
RMSE	N	E	S	W	Hor
ASHRAE	62.7	212.9	105.1	230.1	200.8
CIBSE	42.4	97.1	75.2	57.1	92.8
t-Statistic	N	E	S	W	Hor
ASHRAE	3.50	0.68	3.45	2.44	2.81
CIBSE	3.45	0.88	3.63	2.22	1.94

5. 결 론

실측값과 ASHRAE 및 CIBSE 제공값을 방위별, 수평면 일사량을 비교분석하였다.

- (1) 월평균 방위별, 수평면 일사량을 보았을시, 측정값 북향을 기준으로 일사량이 10~150%까지 극심한 차이를 보였다. 오차의 이유는 청명일을 기준으로 하지 않고, 측정 기간 운량이 있음으로 유추된다.
- (2) 측정값 청명일을 기준(9월 22일 운량값 0.1)으로 비교하였으며 실측값을 기준으로 단순비교한 결과 ASHRAE는 평균 68.27%, CIBSE는 평균 16.04%의 오차율로 월평균 측정값에 비해서 CIBSE 제공값이 매우 신뢰도가 높음을 알 수 있다.
- (3) 측정값 청명일을 비교를 단순비교가 아닌, 실측/예측 모델의 통계적 신뢰도 평가에 쓰이는 MBE/RMSE/t-Statistic으로 분석한 결과 ASHRAE에 비해 CIBSE의 제공값이 매우 신뢰도가 높음을 알 수 있다.

본 연구에서는 MBE/RMSE/t-Statistic와 단순비교의 신뢰도를 바탕으로 분석한 결과 ASHRAE와 CIBSE에서 제공하는 수직면, 수평면 일사량은 대한민국에 맞는 일사량이라고 보기엔 어렵다고 판단된다.

향후 연구에서는 방위별 수직면, 수평면 일사량 산출 모델을 실측값과 연계하여 연구하고자 한다.

후 기

본 연구는 2011년도 정부(교육과학기술부)의 연구비지원으로 수행되었음(과제번호 : No. 2011-00-03858)

참 고 문 헌

1. ASHRAE, ASHRAE Fundamentals Handbooks, 1997.
2. CIBSE, CIBSE Guide J : Weather, solar and illuminance data, 2002