

# 국내 주요도시의 일조시간데이터를 이용한 시간당전일사량 산출 및 분석

이관호\*, 심광열\*\*

\*울산과학기술대학 공간디자인학부(ghlee@mail.uc.ac.kr), \*\*울산과학기술대학 전기전자학부(changio07@hanmail.net)

## Analysis and Calculation of Global Hourly Solar Irradiation Based on Sunshine Duration for Major Cities in Korea

Lee, Kwan-Ho\* Sim, Kwang-Yeal\*\*

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

### Abstract

Computer simulation of buildings and solar energy systems are being used increasingly in energy assessments and design. This paper discusses the possibility of using sunshine duration data instead of global hourly solar irradiation (GHSI) data for localities with abundant data on sunshine duration. For six locations in South Korea where global radiation is currently measured, the global radiation was calculated using Sunshine Duration Radiation Model (SDRM), compared and analyzed. Results of SDRM has been compared with the measured data on the coefficients of determination ( $R^2$ ), root-mean-square error (RMSE) and mean bias error (MBE). This study recommends the use of sunshine duration based irradiation models if measured solar radiation data is not available.

Keywords : 시간당 전일사량(Global hourly solar irradiation), 일조시간(Sunshine duration), SDRM(Sunshine Duration Radiation Model) 표준년기상자료(Typical Meteorological Data), 기후변화(Climatic Change)

### 기 호 설 명

	MBE	: Mean Bias Error( $W/m^2$ )
	$R^2$	: 결정계수
a, b	RMSE	: Root Mean Square Error( $W/m^2$ )
GHSI	S	: 월평균 1일 일조시간(h)
H	$S_o$	: 월평균 1일 가조시간(h)
Hd	SS	: 일출시각
$H_o$	SR	: 일몰시각

투고일자 : 2010년 1월 27일, 심사일자 : 2010년 1월 30일, 게재확정일자 : 2010년 3월 31일  
교신저자 : 이관호(ghlee@mail.uc.ac.kr)

## 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 진행중이다. 국내에서도 건축물 에너지 성능평가 컴퓨터 시뮬레이션 프로그램용 표준기상데이터에 대한 연구가 진행되고 있으며 시간당 데이터의 형식을 가지는 표준기상데이터의 연구를 위해서는 누락되거나 미래기상 예측에 필요한 시간당 일사량 산출방법이 요청된다. 특히 건물 에너지 해석을 위한 프로그램의 사용 및 대체에너지 시스템의 건축물 적용이 확대되고 있는 시점에서 이의 정확한 효과분석을 위해 일사량 데이터의 마련은 선결조건이다.

그러나 일사량 측정은 선진국에 집중되어 있으며, 선진국 내에서도 일부지역에 편중되어 있는 실정이다. 이와 같은 현상에 대응하고자 일사 외의 기상데이터를 이용한 일사 산출에 관한 연구가 이루어지고 있으며, 대표적으로 운량과 일조시간 데이터가 이용되고 있다. 국내의 경우 일사량은 22개 지점에서만 측정되고 있는 반면, 일조시간데이터의 경우 79개 지점에서 측정되고 있다.

따라서 본 연구에서는 일사량이 측정되고 있지 않는 지역 및 누락된 일사데이터 산출을 위한 기초자료 마련을 위해, 일사산출을 위한 여러 가지 모델 중 일조데이터를 이용한 비교적 간단한 일사량 산출 모델을 통하여 일사를 산출하고자 한다. 이를 위해, 각 지역별 일사 및 일조를 이용한 경험적 상수를 산정하여 일사가 측정되고 있는 6개 주요 도시의 시간당전일사량 예측값을 산출하고, 실측값과 비교, 분석을 통하여 일조시간데이터를 이용한 시간당전일사량 산출방법을 평가하고자 한다.

## 2. 일사산출을 위한 데이터

### 2.1 산출대상 지역

현재 일조는 본청(서울) 1개소를 비롯하여 총 79개소에서 측정되고 있으나, 일사의 경우 22개소에 불과한 실정이다. 본 논문에서는 서울 및 5개 광역시를 대상으로 일조를 이용하여 일사를 산출하여 실측값과 비교하고자 한다. 자세한 내용은 다음 [그림 1] 및 [표 1]과 같다.

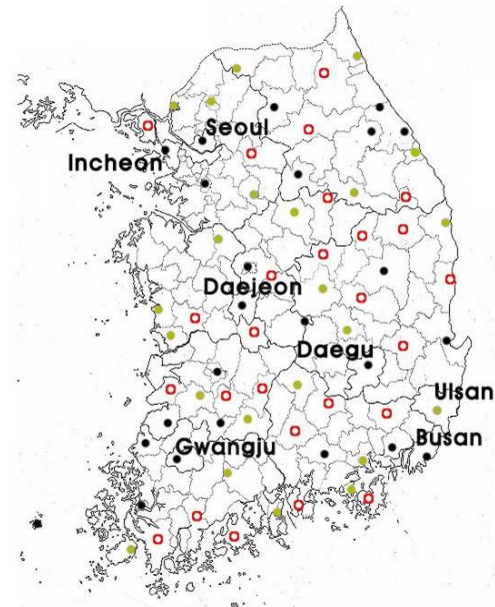


그림 1. 일사량, 운량 및 일조시간 산출대상지역 (●일사+운량+일조 측정, ●일사+운량 측정, ○일조 측정)

표 1. 산출대상 지역

지역	위도 (N)	경도 (E)	고도* (m)	측정데이터	
				일사	일조
서울	37.34	126.58	85.5	○	○
부산	37.29	126.38	68.9	○	○
대구	35.53	128.37	57.8	○	○
대전	36.18	127.24	77.1	○	○
광주	35.08	126.55	70.9	○	○
부산	35.06	129.02	69.2	○	○

\*고도 : 노장의 해발높이

## 2.2 산출 데이터

본 연구에서는 기상청(KMA)에서 제공된 20년간(1986-2005)의 일조 및 일사의 시간별 데이터를 사용하였다.

일사데이터는 MJ/m<sup>2</sup>를 W/m<sup>2</sup>로 환산하였고, 10분법으로 제공되는 일조데이터를 사용하였다.

## 3. 일사산출 및 평가 방법

### 3.1 SDRM(Sunshine Duration Radiation Model)에 의한 일사산출 방법

일사량이 측정되고 있지 않는 지역 및 누락된 일사데이터 산출을 위하여, 유호천외(2008)는 Kasten & Czeplak(1980)의 방법을 이용하여 우리나라에 적합한 운량을 이용한 모델을 제시하였다. Angström(1924)은 식 (1)과 같이 일조를 이용하여 최초로 월평균 1일 청명일사량에 대한 수평면 전일사의 비를 그 지방의 월평균 1일 가조시간에 대한 일조시간의 비와의 관계식을 제시하였다. 최근에 Page(1964), Ogelman et al.(1984), Ai-Sadam et al.(1991), Lin et al.(1999), 조덕기외(2008) 및 Bakirci(2009)의 연구에서는 청명일 대신 대기권 밖 일사량을 사용하여 일조에 대한 정보를 기초로 일사량을 산출하였다.

$$\frac{H}{H_0} = a + b\left(\frac{S}{S_0}\right) \quad (1)$$

이때 월평균 1일 대기권 밖 일사량은 식 (2)에 의해 산출할 수 있다.

$$H_0 = \frac{24}{\pi} I_{gs} f \left[ \cos \lambda \cos \delta \sin w_s + \frac{\pi}{180} w_s \sin \lambda \sin \delta \right] \quad (2)$$

여기서  $I_{gs}$  : 태양상수 (1,367 W/m<sup>2</sup>)

$f$  : 외곡교정인수

$\lambda$  : 해당지역의 위도

$\delta$  : 일적위

$w_s$  : 일출시간각

$$f = 1 + 0.033 \left[ \cos \left( \frac{360n}{365} \right) \right] \quad (3)$$

$$\delta = 23.45 \sin \left[ \frac{360(284+n)}{365} \right] \quad (4)$$

$$w_s = \cos^{-1}(-\tan \lambda \tan \delta) \quad (5)$$

이때  $n$ 은 1월 1일부터 시작하는 1년의 날수이며, 해당일의 1일 최대 가조시간  $S_0$ 의 산출식은 다음과 같다.

$$S_0 = \frac{2}{15} w_s \quad (6)$$

위의 식 (1)에서 표기되어 있는 경험적 상수  $a$ ,  $b$ 는 각 지역의 일사율( $H/H_0$ ) 및 일조율( $S/S_0$ )을 통해 산출하여야 한다.

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n y_i - b \sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (7)$$

$$b = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i - \left( \sum_{i=1}^n x_i \right)^2} \quad (8)$$

여기서  $y_i$ 는 일사율이고,  $x_i$ 는 일조율이다. Chow(2005)는 시간당 전일사량(GHSD)을 식 (1)에서 구한 1일 평균 수평면 전일사량( $H_d$ )과 일출에서 일몰까지 sine 곡선을 이용하여 구하였다.

$$GHSD = \frac{M}{2} \left( \cos \left[ \frac{(t-12) \cdot 2\pi}{(SS-SR)} \right] + 1 \right) \quad (9)$$

$$M = \frac{2 \times H_d}{\left[ \frac{\sin \left( \frac{(t-12) \cdot 2\pi}{(SS-SR)} \right)}{\frac{2\pi}{(SS-SR)}} + t \right]_{SR}^{SS}} \quad (10)$$

여기서 t : 시각 (하루 24시간 중)  
 SS : 일출시각 (하루 24시간 중)  
 SR : 일몰시각 (하루 24시간 중)

### 3.2 산출일사의 평가방법

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

$$MBE = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (H_{j,c} - H_{j,m}) \quad (11)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (H_{j,c} - H_{j,m})^2} \quad (12)$$

여기서 MBE는 모델화한 회기 방정식의 장기성능에 대한 정보를 제공한다. 양의 MBE값은 실측치와 비교하여 GHSI을 과대평가한 것이다. RMSE는 단기성능에 대한 정보를 제공하고, 선형회기 방정식의 분산을 보여준다.

## 4. SDRM에 의한 일사 산출결과

### 4.1 지역별 SDRM의 계수 산출

일사가 측정되고 있는 서울 외 5개 지역의 일조에 따른 일사의 변화량을 식(1)을 통해 구할 수 있다. 식(7, 8)을 이용하여 표 2의 국내 주요 6개 도시의 경험계수 a, b를 산정하였고, 그림 2는 일사율(H/H<sub>0</sub>) 및 일조율(S/S<sub>0</sub>)에 따른 서울의 일사의 변화량을 보여주고 있다.

표 2. 주요도시의 SDRM 경험계수

지역	a	b	R <sup>2</sup>
서울	0.240	0.283	0.850
인천	0.216	0.350	0.853
대전	0.396	0.115	0.733
대구	0.186	0.404	0.898
광주	0.267	0.301	0.862
부산	0.204	0.353	0.885
6개 도시 평균	0.253	0.301	0.839

### 4.2 측정 및 산출 일사의 비교결과

측정 및 산출 결과를 비교해 보면, SDRM 방법은 시간 당 일사의 구하는데 효과적인 방법임을 알 수 있었다. 또한 6지역의 자료를 이용한 전국의 경험계수를 적용할 경우에도 꽤 만족할만한 결과 값을 산출할 수 있는 것으로 나타났다. 국내 주요 6개 도시의 SDRM의 R<sup>2</sup> 값은 0.733-0.898 이었고, 6개 도시의 평균 경험계수 a, b를 이용한 R<sup>2</sup> 값은 0.839로 상관관계가 있음을 알 수 있었다.

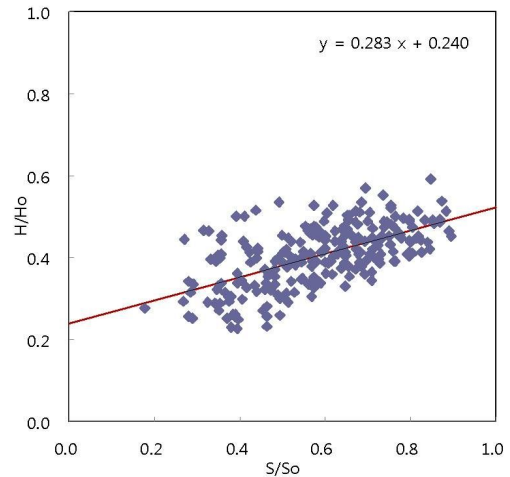


그림 2. 일사율(H/H<sub>0</sub>) 및 일조율(S/S<sub>0</sub>)에 따른 서울의 SDRM 경험계수

표 3은 국내 주요 6개 도시의 MBE/ RMSE 값으로 SDRM 방법을 이용한 시간당전일사량 산출방법의 타당성을 보여주고 있다. SDRM의 평균 MBE는 -12.832 W/m<sup>2</sup> (-4.348%) 이었고, 평균 RMSE는 120.390 W/m<sup>2</sup> (40.792%) 이었다. 여기서 RMSE값이 MBE 보다 상대적으로 높은 것은 시간당 일조시간을 고려하지 않고 일평균 일조량을 sine 곡선으로 나누었기 때문이다. 또한 SDRM 방법은 남부지방 보다 중부지방의 RMSE의 증가 경향을 보였다. 이상의 결과로부터 SDRM은 일조시간만 측정하는 국내의 모든 관측지점의 시간당 전일사량을 예측하는 유용한 도구임을 알 수 있었다.

표 3. 주요도시의 MBE/RMSE

지역	MBE		RMSE	
	W/m <sup>2</sup>	%	W/m <sup>2</sup>	%
서울	-13.974	-4.735	112.666	38.175
인천	-5.648	-1.914	121.846	41.286
대전	-11.979	-4.059	163.366	55.354
대구	-0.795	-0.269	98.612	33.413
광주	-8.669	-2.937	116.467	39.463
부산	-35.926	-12.173	109.380	37.062
6개 도시 평균	-17.947	-8.891	123.930	41.992

## 5. 결 론

시간당 일사데이터는 그 필요성에도 불구하고 장비 및 기술의 부족으로 인해 국내 22지역에서만 측정되고 있다. 또한 건물시물레이션에 필요한 시간당 일사량 자료는 최소 10-20년이 필요할 것이다. 시간당 일사량 자료가 없는 지역의 표준년기상자료 및 기후변화를 고려하는 미래 표준년기상자료 산출을 위하여, 국외에서 많은 연구가 이루어진 일조를 이용한 일사산출 방법을 국내에 적용해 봄으로써, 국내 일사산출에 적합한지에 대한 평가하였다. 이에 대한 결론은 다음과 같다.

- (1) 본 연구에서 각 지역별 시간당 일조 데이터를 통해 산정한 각 지역의 산출계수 (site-fitted coefficient)를 대입하여 산출한 일사를 실측된 일사(measured data)와 비교해 본 결과 6개 지역에서 모두 상관관계가 있거나, 상관관계가 강한 것으로 나타났다. 특히, 6개 지역을 통합한 계수 대입시 꽤 만족할 만한 결과가 도출되었다.
- (2) SDRM의 방법은 MBE에서 -0.269~-12.173% 정도의 오차를 나타내었고, RMSE에서 33.413%~55.354%의 오차를 보였다.
- (3) 본 연구를 통해 산출되어진 일사데이터는

손실된 일사데이터의 보완 및 일사가 측정되지 않는 지역의 일사산출을 통해 표준기상데이터 정립을 위한 기초자료로 이용될 수 있을 것으로 판단된다.

본 논문에서는 일조에 의존한 비교적 간단한 계산식을 적용하여 각 지역의 일사를 산출하였다. 그러나 보다 정확한 시간당 일사데이터의 산출을 위해 시간당 일조의 변화에 따른 일사량을 고려할 필요가 있으므로, 추후 연구에서는 이를 고려한 일사의 산출이 이루어져야 할 것으로 판단된다.

## 후 기

이 논문 또는 저서는 2009년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(2009-0067807)

## 참 고 문 헌

1. Al-Sadam, F.H. & Ragab, F.M., 「Study of global daily solar radiation and its relation to sunshine duration in Bahrain」, Solar Energy, 47 pp.115-119, 1991
2. Angström A., 「Solar and terrestrial radiation」, Quarterly Journal of Royal Meteorological Society, 50, pp.121-125, 1924ment, 2007
3. Bakirci, K., 「Models of solar radiation with hours of bright sunshine: A review, Renewable and Sustainable Energy Reviews」, 13, pp.2580-2588, 2009
4. Chow, D.H.C., The Effects of Future Climate Change and Near-Extreme Weather on Office Buildings in th UK, The University of Manchester for the degree of Doctor of Philosophy, pp. 224-229, 2005

5. Kasten, F. & Czeplak, G., 「Solar and Terrestrial Radiation Dependent on the Amount and Type of Cloud」, Solar Energy, pp. 177-89, 1980
6. Lin, W. at al., 「Ranking the overall performance of eight sunshine-based global solar radiation models with a nonparametric statistical procedure」, Energy Conversion and Management, 40 , pp.233-241, 1999
7. Ögelman, H. et al., 「A new method for estimating solar radiation from bright sunshine data」, Solar Energy, 33, pp.612-625, 1984
8. 유호천 외, 「국내 주요도시의 운량데이터를 이용한 전일사 산출 및 비교」, 한국태양에너지학회논문집, 28(4), pp. 17-24, 2008
9. 조덕기, 강용혁, 「기상매개변수와의 상관관계에 의한 일사예측에 관한 연구」, 한국태양에너지학회논문집, 28(3), pp. 1-6, 2008