

## 태양복사와 대기온도사이의 관계에 대한 연구

김룡운, 은경호

위대한 령도자 김정일동지께서는 다음과 같이 교시하시였다.

《...에너지를 효과적으로 리용하고 절약하기 위한 과학기술적문제들을 풀어야 하며 태양에너지, 풍력에너지를 비롯한 새로운 에너지를 개발하기 위한 연구에 힘을 넣어 그 리용전망을 확고히 열어놓아야 합니다.》(《김정일선집》 증보판 제15권 487페이지)

태양복사를 정확히 결정하는것은 태양에너지리용체계를 과학적으로 설계하고 운영하는데서 매우 중요한 문제로 나선다.

일반적으로 태양총복사계로 측정 한 복사자료들은 태양에너지리용체계에서 많이 리용되고있다.[1, 4] 그러나 태양복사를 직접 측정할수 있는 기상관측소들이 많지 않고 산이 비교적 많은 우리 나라의 모든 곳에서 태양복사를 측정한다는것은 어려운 일이다.

본문에서는 대기온도와 월평균태양복사사이의 관계모형에 기초하여 태양복사를 직접 측정하지 않고서도 대기온도에 따라 태양복사를 결정하기 위한 한가지 방법을 제기하였다.

### 1. 태양복사와 대기온도사이의 관계모형

태양복사가 기상상태와 밀접히 련관되어있다는데로부터 지난 시기 측정평가된 태양복사자료를 리용할수 없는 경우 수평면태양복사의 월평균값을 얻기 위한 연구[1, 2]들이 진행되었다.

일반적으로 맑음지수는 수평면총복사  $H$ 와 대기권밖에서의 총복사  $H_0$ 사이의 비로 정의된다.

$$\frac{H}{H_0} = K \cdot \Delta T^{0.5} \quad (1)$$

여기서  $\Delta T$ 는 매일 최대온도  $T_{\text{최대}}$ 와 최소온도  $T_{\text{최소}}$ 의 차이이고  $K$ 는 경험적파라미터로서 건조하거나 비교적 건조한 기후인 경우 0.17로 정하고 최근에는 내륙지역인 경우 0.16, 해안지역인 경우에는 0.19로 설정한다.

$K$ 에 대한 해발높이의 영향을 정확히 반영하기 위하여  $K$ 를 다음과 같이 표시하였다.

$$K = K_\alpha \left( \frac{P}{P_0} \right)^{0.5} \quad (2)$$

여기서  $P$ 와  $P_0$ 은 각각 기상학적측정위치와 바다기준면에서의 평균대기압,  $K_\alpha$ 는 경험적파라미터로서 내륙지역인 경우 0.17, 해안지역인 경우 0.20으로 설정하였다.[3]

또한 식 (1)과 맑은 날의 대기에서 태양복사를 모의하여 회귀법으로  $K$ 값을 얻는 방법이 제기되었을뿐만아니라 위도를 고려한 방법도 제기되었다.

$$\frac{H}{H_0} = 7.9\phi^{-1} \left[ \Delta T \sin \phi \left( \frac{P}{P_0} \right) \right]^{0.5} \quad (3)$$

$$K_\alpha = 7.9\phi^{-1} (\sin \alpha)^{0.5} \quad (4)$$

$H/H_0$ 와  $\Delta T$ 를 기상학적변수로 하는 모형화된 다른 관계식[3]도 제기되었다.

$$\left( \frac{H}{H_0} \right) = A(1 - e^{-B \cdot \Delta T_i^C}) \quad (5)$$

여기서  $A, B, C$ 는 경험적파라미터들로서 측정된 곳에서  $A=0.7$ ,  $C=2.4$ 이고  $B$ 는 년중에 변하는 량으로서 다음과 같이 표시된다.

$$B = 0.036e^{-0.154\Delta\bar{T}} \quad (6)$$

여기서  $\Delta\bar{T}$ 는  $\Delta T_i$ 의 월평균값이다.

론문에서 제기한 모형은 경험적파라미터가 기상학적측정위치의 해발높이  $z$ 와 위도  $\phi$ 뿐만아니라 바다까지의 거리  $L$ 에도 관계되는것으로서 식 (5)와 (6)의 량변을 무분화하기 위하여 어떤 변수를 보충적으로 첨가한 모형이다.

$$H = f(H_0, \Delta T, T_0, L, z) \quad (7)$$

식 (7)을 다음과 같이 변형시킬수 있다.

$$\frac{H}{H_0} = f\left(\frac{z}{L}, \frac{\Delta T}{T_0}\right) \quad (8)$$

식 (1)과 그 변종들과 비교하면 다음의 방정식은 모형해석을 위한  $H/H_0$ 와  $\Delta T$ 사이의 관계식이다.

$$\frac{H}{H_0} = f\left(\frac{z}{L}\right) \cdot \left(\frac{\Delta T}{T_0}\right)^{0.5} \quad (9)$$

여기서 함수  $f(z/L)$ 은 측정자료들에 의하여 결정할수 있다.

측정자료에서 측정범위를 벗어나는 값들을 제외하고 년중 모든 달에 대하여  $H$ ,  $T_{\text{최대}}$ 와  $T_{\text{최소}}$ 의 월평균값들은 표준분포에 따른다.

## 2. 기상학적관측지점의 해발높이와 바다로부터의 거리의 영향

모의에서 설정한 기상학적관측지점들은 표 1과 같다.

표 1. 기상학적관측지점들(1995-1997)

No.	관측지점	해발높이/m	위도/(°)	경도/(°)	관측지점까지 거리/km
1	평양	36.2	39.033	125.783	46.55
2	원산	35.1	39.173	127.418	1.80
3	사리원	51.8	38.517	125.767	66.20
4	해주	79.0	38.033	125.700	31.25
5	함흥	39.7	39.933	128.183	7.45

함수  $f(z/L)$ 의 측정값들은 관측하는 날의 기상조건에 관계되지 않으며 매 기상학적 위치에서 측정된 월평균값들에 의하여 계산된다.

$$f\left(\frac{z}{L}\right) = \left(\frac{H}{H_0}\right) / \left(\frac{\Delta T}{T_0}\right)^{0.5} \quad (10)$$

대기권밖에서의 총복사  $H_0$ 은 다음의 식으로 계산한다.

$$H_0 = \frac{86.4}{\pi} C \cdot \left[ 1 + 0.033 \sin\left(360 \frac{284 + d}{365}\right) \right] \left( \cos\phi \cos\delta \sin\omega_s + \frac{\pi\omega_s}{180} \sin\phi \sin\delta \right) \quad (11)$$

여기서  $C$ 는 태양상수,  $d$ 는 년중 날자수,  $\delta$ 는 태양적위,  $\omega_s$ 는 해지기시간각이다.

식 (10)에서  $\Delta T/T_0$ 의  $T_0$ 은 기준온도로서 실험값처리에서 세 경우 즉  $T_0 = T_{\text{최대}}$ ,  $T_0 = T_{\text{평균}}$ 과  $T_0 = T_{\text{최소}}$ 인 경우중에서  $T_0 = T_{\text{최소}}$ 인 경우에 오차가 가장 작게 얻어지므로 이 값으로  $T_0$ 을 정한다.

모든 관측지점들에 대하여 얻어진 함수  $f(z/L)$ 의 실험값들은 표 2와 같다.

표 2. 관측지점에 따르는 함수  $f(z/L)$ 의 실험값

관측지점	$zL^{-1}/(\text{m}\cdot\text{km}^{-1})$	$f(z/L)$
1	0.778	2.589
2	19.500	4.196
3	0.782	2.703
4	2.528	2.983
5	5.329	3.154

회귀법으로 함수  $f(z/L)$ 를 결정하기 위하여 다음과 같은 포텐셜모형을 가정하였다.

$$f\left(\frac{z}{L}\right) = a\left(\frac{z}{L}\right)^b \quad (12)$$

무본량들인 파라메터  $a$ 와  $b$ 는 평균2제곱 오차  $\bar{s}$ 를 최적화하는 방법으로 계산한다.

$$\bar{s} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N s_i \quad (13)$$

$$s_i = \sqrt{\frac{1}{12} \sum_{j=1}^{12} \left[ \frac{(H/H_0)_{i,j}^* - (H/H_0)_{i,j}}{(H/H_0)_{i,j}} \right]^2} \quad (14)$$

여기서  $(H/H_0)_{i,j}$ 는  $j$ 월에  $i$ 번째 위치에서 측정한 월평균값,  $(H/H_0)_{i,j}^*$ 은 해당 모형에 대한 예측값이다.

이때  $R^2 = 0.9983$ 과  $\bar{s} = 5.79\%$ 인 조건에서  $H/H_0$ 은 다음과 같이 표시된다.

$$\frac{H}{H_0} = 2.568 \left(\frac{z}{L}\right)^{0.106} \left(\frac{\Delta T}{T_{\text{최소}}}\right)^{0.5} \quad (15)$$

### 3. 모형과 측정값들의 비교분석

식 (14)로부터 계산된 관측지점들에서의 모형예측값과  $H/H_0$ 의 측정값들은 표 3과 같다.

표 3에서 보는바와 같이 위도차이가 작을수록 상대적오차가 더 작으며 다섯번째 위치에서 복사준위가 실지 측정값보다 10%이상 넘는다는것을 알수 있다.

식 (14)에 기초한 모형은 작은 위도변화와 유사한 기후를 가진 지역들에서 맑음지수가 대기온도차와 기준온도의 월평균값들의 비 그리고 관측지점의 해발높이와 바다까지의 거리사이의 비에 관계된다는것을 보여준다.

표 3. 관측지점들에서의 모형예측값과  $H/H_0$ 의 측정값

관측지점	월	측정값	모형예측값	관측지점	월	측정값	모형예측값
1	1	0.496	0.473	3	7	0.661	0.643
	2	0.537	0.494		8	0.646	0.638
	3	0.599	0.542		9	0.599	0.608
	4	0.567	0.536		10	0.527	0.572
	5	0.591	0.563		11	0.463	0.531
	6	0.634	0.594		12	0.467	0.520
	7	0.668	0.617	4	1	0.505	0.525
	8	0.653	0.607		2	0.555	0.564
	9	0.599	0.572		3	0.593	0.586
	10	0.547	0.517		4	0.578	0.579
	11	0.485	0.467		5	0.573	0.581
	12	0.444	0.447		6	0.631	0.608
2	1	0.509	0.518		7	0.669	0.628
	2	0.450	0.519		8	0.654	0.617
	3	0.560	0.559		9	0.622	0.597
	4	0.552	0.558		10	0.553	0.550
	5	0.586	0.593		11	0.515	0.527
	6	0.617	0.632		12	0.465	0.500
	7	0.659	0.645	5	1	0.411	0.393
	8	0.631	0.631		2	0.434	0.406
	9	0.578	0.591		3	0.462	0.427
	10	0.512	0.531		4	0.440	0.423
	11	0.488	0.510		5	0.403	0.421
	12	0.434	0.476		6	0.417	0.413
3	1	0.471	0.522		7	0.401	0.410
	2	0.549	0.575		8	0.426	0.411
	3	0.568	0.607		9	0.455	0.423
	4	0.564	0.594		10	0.433	0.408
	5	0.557	0.598		11	0.409	0.392
	6	0.639	0.641		12	0.400	0.380

관측지점으로부터 바다까지의 거리  $L$ 의 영향은 바다와 같은 거대한 물량에 의하여 일어나는 열조절효과에 의하여 조절되며 해발높이  $z$ 는 공기의 체적열용량의 변화를 나타내는데 기여한다.

경험적파라미터들인  $a$ 와  $b$ 는 위도와 지역의 공기-수증기, 바람속도, 강수량 등과 같은 미기후의 기상변화에 관계되며 그것으로부터 위도의 작은 변화와 유사한 기후들의 위치로부터 조절될수 있다.

## 맺는 말

대기온도와 수평면에 입사하는 복사의 월평균값사이의 관계모형을 여러 경험적파라미터들을 리용하여 제안하였다. 이 모형은 위도변화가 작은 지역에서 관측지점의 해발높이, 바다까지의 거리, 기준온도의 영향을 보다 정확히 반영한다. 이 방법으로 더 많은 관측지점들과 관측자료(대기온도자료)들을 리용하면 넓은 지역의 태양복사구조지도를 작성하는데 리용할수 있다.

## 참고문헌

- [1] G. H. Hargreaves et al.; J. Irrg. Drain. Energy, 108, 3, 225, 1982.
- [2] R. G. Allen; J. Hydr. Eng., 2, 2, 56, 1997.
- [3] S. S. Chandel et al.; J. Sol. Eng., 127, 417, 2005.
- [4] Tamer Khatib et al.; International Journal of Photoenergy, 2015, 13, 2015.

주체107(2018)년 3월 5일 원고접수

## On the Correlation between Solar Radiation and Air Temperature

*Kim Ryong Un, Un Kyong Ho*

We proposed the correlation model between air temperature and monthly average solar radiation on horizontal surfaces by using empirical parameters. In areas with small latitude variations this model represents the influence of the altitude, the distance to sea and a reference temperature more explicitly.

By using monthly average of minimum air temperatures and solar radiation as long series of measurements from different meteorological stations, the model of the values  $R^2 = 0.9983$ ,  $\bar{s} = 5.79\%$  obtained from the regression analysis is as follows.

$$\frac{H}{H_0} = 2.568 \left( \frac{z}{L} \right)^{0.106} \left( \frac{\Delta T}{T_{\min}} \right)^{0.5}$$

Taking into account the abundance of meteorological stations and measurement data (air temperature data) can be used in making a solar radiation maps in wide areas of our country.

Key words: correlative model, air temperature, solar radiation