

태양스펙트르복사의 계절특성에 대한 연구

김승일, 은경호

태양복사흐름과 그것의 스펙트르분포는 시간과 계절 및 지역에 따라서 변한다. 태양복사의 이러한 특성을 정확히 고려하는것은 태양에너지이용에서 중요한 문제로 나선다.

본문에서는 평양지방에서 계절에 따르는 태양복사의 스펙트르분포특성을 밝혔다.

1. 지상에 도달하는 태양복사흐름밀도와 스펙트르분포

지상에 도달하는 태양수직직달복사흐름밀도와 그것의 스펙트르분포는 비어의 법칙으로부터 다음과 같이 표시된다.[1, 3]

$$S = \int_{0.3}^{2.6} \phi_{\lambda}(\lambda) d\lambda \quad (1)$$

$$\phi_{\lambda}(\lambda) = \frac{1}{L} \phi_0(\lambda) \cdot \exp[-(\sigma_s(\lambda) + \sigma_a(\lambda)) \cdot m] \quad (2)$$

$$m = \frac{b}{b_0} \cdot \frac{1}{\cos z + 0.15(93.885 - z)^{-1.25}} \quad (3)$$

$$\cos z = \sin \varphi \cdot \sin \delta + \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos \omega \quad (4)$$

여기서 S 는 지상에 도달하는 태양수직직달복사흐름밀도, λ 는 태양빛파장, $\phi_{\lambda}(\lambda)$ 는 지상에 도달하는 태양수직직달스펙트르복사흐름밀도, $\phi_0(\lambda)$ 는 지구-태양평균거리에서 태양빛에 수직인 단위면적에 들어오는 태양스펙트르복사흐름밀도, L 은 지구-태양거리변화보정계수, m 은 공기질량으로서 지점의 지리적특성과 계절에 따라 변한다. z 는 태양천정거리, φ 와 δ 는 지점의 위도와 태양적위, ω 는 관측시간의 진태양시간각, b 와 b_0 은 임의의 높이와 바다수준면에서의 대기압이다.

$\sigma_s(\lambda)$ 와 $\sigma_a(\lambda)$ 는 각각 $m=1$ (태양이 천정에 있는 경우)일 때 대기의 산란과 흡수에 의한 스펙트르약화결수로서 다음과 같다.

$$\sigma_s(\lambda) = \tau_R(\lambda) + \tau_M(\lambda) \quad (5)$$

$$\sigma_a(\lambda) = \tau_{O_3}(\lambda) + \tau_W(\lambda) \quad (6)$$

여기서 $\tau_R(\lambda)$ 와 $\tau_M(\lambda)$ 는 각각 레일리산란과 미산란약화결수로서

$$\tau_R(\lambda) = 0.00838 \cdot \lambda^{-(3.916+0.074\lambda+0.03/\lambda)}, \quad (7)$$

$$\tau_M(\lambda) = \beta \cdot \lambda^{-\alpha} \quad (8)$$

이며 α, β 는 옹그스트룡대기혼탁계수, $\tau_{O_3}(\lambda)$ 와 $\tau_W(\lambda)$ 는 각각 오존 및 산소분자흡수약화결수와 수증기 및 기타분자들의 흡수약화결수이다.

$$\tau_w(\lambda) = \begin{cases} \exp(-C_4 \sqrt{W \cdot m}) & (C_4 \neq 0) \\ \exp(-C_5 \cdot W \cdot m) & (C_5 \neq 0) \\ 1 - C_6 \sqrt{m} & (C_6 \neq 0) \end{cases} \quad (9)$$

여기서 C_4, C_5, C_6 은 각이한 파장구역에서 분자흡수결수, W 는 가능강수량이다.

이와 같이 지상에 도달하는 태양수직직달복사흐름밀도와 그것의 스펙트르분포는 공기 질량과 대기중의 오존 및 산소분자량, 가능강수량, 대기혼탁결수에 의하여 결정된다.

2. 태양복사흐름관측자료에 의한 대기혼탁결수 β 의 결정

논문에서는 우리 나라에서 관측된 태양수직직달복사흐름밀도(맑은날)자료를 리용하여 대기혼탁결수를 다음의 조건에서 결정하였다.

$$\frac{|S_0 - S(\beta)|}{S_0} \times 100 \leq \varepsilon \quad (10)$$

여기서 S_0 은 태양수직직달복사흐름밀도관측값, $S(\beta)$ 는 태양수직직달복사흐름밀도계산값, ε 은 상대오차(%)이다.

$S(\beta)$ 계산에서 $\phi_0(\lambda), \tau_{O_3}(\lambda), C_4, C_5, C_6, L$ 은 선행연구[3]의 자료를 리용하였다.

S_0 은 우리 나라에서 관측된 태양복사관측자료를 통계분석한 자료[1]를 리용하였으며 이 자료에서 S_0 의 오차범위는 $\pm 3\%$ 이므로 식 (10)에서 ε 은 3%보다 작게 하였다.

가능강수량 W 의 계절특성은 월평균대기수증기압에 대한 관측자료[2]를 리용하여 다음의 경험식

$$W = 0.16 \cdot P_v \quad (11)$$

로 계산하였다. 여기서 P_v 는 대기의 수증기압이다.

평양지방에서 월평균태양수직직달복사흐름밀도(맑은날)와 월평균대기수증기압에 대한 관측자료는 표 1, 2와 같다.

표 1. 월평균태양수직직달복사흐름밀도

	시 간/월											
	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$S_0/(W \cdot m^{-2})$	685	705	719	713	780	779	770	673	790	785	720	703
$\bar{S}_0/(W \cdot m^{-2})$		703			757			744			736	

\bar{S}_0 는 태양수직직달복사흐름밀도의 계절평균값

표 2. 월평균대기수증기압(평양)

	시 간/월											
	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
P_v/hPa	3.6	2.8	3.3	4.7	7.5	11.5	17.3	24.4	24.6	16.7	10.3	6.3
\bar{P}_v/hPa		3.2			7.9			22.1			11.1	

\bar{P}_v 는 계절평균대기수증기압

평양지방의 공기질량, 오존량, 가능강수량의 계절평균값을 표 3에, 대기혼탁결수의 계산값을 표 4에 주었다.

표 3. 계절평균 공기질량, 오존량, 가능강수량

지표	계절			
	겨울	봄	여름	가을
공기질량	2.01	1.15	1.05	1.46
오존량/mm	3.0	3.4	3.2	2.8
가능강수량/mm	5.2	12.6	35.4	17.8

표 4. 대기혼탁결수 β 의 계절분포(맑은날)

	계절			
	겨울	봄	여름	가을
β	0.08(1.3)	0.14(0.9)	0.17(0.7)	0.11(1.1)

β 란의 ()안의 수자는 α 값을 의미한다.

3. 태양스펙트르복사의 계절특성

태양스펙트르복사에 주는 각이한 대기파라메터들의 영향을 고려하여 태양스펙트르복사의 자외선, 가시선, 적외선구역에 대한 복사흐름밀도의 계절변화를 평가하였다.(표 5)

표 5. 평양지방의 태양스펙트르복사의 계절특성(맑은날)

계절	$S/(W \cdot m^{-2})$		
	자외선	가시선	적외선
겨울	15.5	303	384.5
봄	31.0	370	356.0
여름	36.5	384	313.5
가을	29.0	340	367.0

표 5에서 보는바와 같이 평양지방에서 맑은날 자외선복사흐름밀도는 년중 60%정도의 큰 변동을 나타낸다.

겨울철평균자외선복사흐름밀도는 여름철에 비하여 $20W/m^2$ 정도 작은데 이것은 계절에 따르는 대기파라메터의 변동과 공기질량의 변화가 크기때문이다. 가시선복사흐름의 계절변화특성은 자외선복사흐름의 계절변화특성과 유사하며 다만 복사흐름밀도의 크기

에서는 상대적으로 차이가 적다. 한편 적외선복사흐름밀도의 계절변화는 자외선복사흐름밀도의 계절변화와 반대경향을 나타내며 그 크기의 변화는 적다.

이상과 같이 평양지방에서 태양스펙트르복사는 계절에 따라 변하며 그것은 공기질량과 대기조건의 계절변화와 관련된다.

맺는 말

논문에서는 평양지방에서 관측된 태양복사자료에 기초하여 계절에 따르는 대기혼탁도의 분포특성을 밝혔다.

태양복사의 스펙트르분포는 계절에 따라 변하며 자외선과 가시선복사는 여름철에 크고 겨울철에 작으며 적외선복사는 반대로 겨울철에 크고 여름철에 작다.

참고문헌

- [1] 박왕빈; 태양에너지이용, 김책공업종합대학출판사, 25~64, 주체98(2009).
- [2] 조선기후자료집, 기상수문국, 주체99(2010).
- [3] U. H. Chen; Physics of Solar Energy, Sun and Willey, 43~138, 2013.
- [4] I. N. Melnikova; Short Wave Solar Radiation in the Atmosphere, Springer, 167~232, 2007.

주체105(2016)년 10월 5일 원고접수

On the Seasonal Property of Solar Spectral Radiation

Kim Sung Il, Un Kyong Ho

We found the distribution property of aerosol turbidity according to the season based on the observed data in Pyongyang.

The spectral distribution of solar radiation is varied with season and the radiation of ultraviolet and visible rays is larger in summer than that in winter. And the radiation of infrared ray is larger in winter than that in summer.

Key words: spectral distribution, aerosol turbidity