

[논문] 태양에너지
Solar Energy
Vol. 16, No. 2, 1996

고산지대의 일사량 특성분석 —소백산과 그 인접 저지대를 중심으로—

조덕기* · 이태규* · 전일수* · 전홍석* · 오정무*

* 한국에너지기술연구소

Solar Radiation Measurement and Analysis of a High Mountain Area

Jo, Dok-Ki* · Lee, Tae-Kyu* · Chun, Il-Soo* · Jeon, Hong-Seok* · Auh, Chung-Moo

* Korea Institute of Energy Research

요 약

측정지의 고도는 일사량 측정에 영향을 주는 중요한 요소이다. 대기중에 내포되어 있는 영속성 개스 즉, 오존과 수증기 등은 대기의 순수한 혼합물 성분은 그 농도가 고도와 밀접한 함수관계를 갖기 때문에 해당 측정지 고도는 그 지역의 대기를 구성 하고 있는 성분에 상대적으로 비례하여 일사에 영향을 준다.

이에따라 소백산과 그인접 저지대인 풍기를 대상으로 일사강도를 측정하여 지역별 일사량자원의 특성과 향후 에너지자원으로서의 가능성을 목표로 두고 고지대와 저지대사이의 상호 비교가 가능하도록 하였다. 현지 측정사업의 내용을 중심으로 지금까지 나타난 결과를 살펴보면,

- 1) 소백산의 연평균 수평면 전일사량 조건은 청명한 날을 기준으로 하루에 4,093 kcal/m²로 나타났다.
 - 2) 소백산에서의 일사강도는 인접 저지대인 풍기보다 6~7% 정도 높게 나타났다.
 - 3) 대기청명도는 동일한 위도상인 소백산과 풍기지역간의 격차가 현저하게 존재 하였다.
- 는 점으로 요약된다.

ABSTRACT

Site elevation is one of the major factors which is influencing the incoming insolation. Because nonpermanent gases like ozone, water vapor are unmixed components of the atmosphere and their concentrations are function of height, the site elevation effects the relative proportion of the atmospheric constituents.

We have measured solar radiation on Sobaek(1,350m) and in Poonggi area(280m). These values were compared to investigate the their characteristics and the potential for the solar utilization as an alternative energy for both high altitude area and low altitude area.

From the results, we conclude that

- 1) Yearly mean 4,093 kcal/m². day of the horizontal global radiation in Mt. Sobaek was evaluated for clear day.
- 2) Insolation on Mt. Sobaek is 6~7% higher than Poonggi area during summer and winter seasons.
- 3) A significant difference of atomospheric clearness index is observed between Mt. Sobaek and Poonggi area at the same latitude.

1. 서 론

측정지의 해당 고도와 위도는 일사량 측정에 영향을 주는 중요한 요소이다. 일반적으로 청명한 날을 기준으로 비교하여 보면, 고도 2000m 지점에서는 대기권밖 일사량의 약 75% 정도의 일사량을 받고 있으며, 해수면에서는 약 50% 정도의 일사량을 받는 것으로 알려져 있다. 또한 지구상에서 최대의 일사량은 적도나 열대지방에서 나타나고 있으며, 극지방으로 갈 수록 일사량의 강도가 점차 약해지는 경향을 보이고 있다.

한편, 지표면에 입사되는 일사량은 그 지역의 고도에 따라 대기를 구성하고 있는 성분에 상대적으로 비례하여 영향을 받는다. 지구의 대기는 영속성 개스와 비영속성 개스, 그리고 에어로졸 혼합물질로 구성되어 있다. 영속성 개스물질은 질소, 탄산가스, 질소산화물 등의

성분으로 혼합되어 있으며, 일반적으로 그 농도는 고도에 따라 변화하지 않고 있다. 그러나 비영속성 개스, 즉 오존과 수증기 등은 대기의 순수한 비혼합물 성분으로 그 농도가 고도와 밀접한 함수관계를 갖는다.

일반적으로 비혼합물 성분이나 에어로졸은 태양복사의 산란과 복사에 중요한 원인이 되고 있는데, 이들의 대부분은 하층부 대기 내에 집중되어 있으며, 농도는 고도가 증가할수록 감소한다. 또한 대기압은 해수면보다 지대가 높을수록 점차 낮게 나타나고, 태양통로(太陽通路) 길이 또한 점차 짧아지기 때문에 결과적으로 높은 고지대일 수록 보다 적은 에너지가 흡수 산란된다. 따라서 일사량은 상대적으로 보다 대기가 청정하고 건조한 지역에서 강하게 나타나며, 대기내의 농도가 낮을수록 흡수와 산란에 의한 일사량의 감쇄현상이 작게 나타난다.

수증기와 오존의 경우에는 위도에 따른 대기성분의 변화가 명백히 나타난다. 대기내 오존의 함유량은 적도에서는 타지역에 비해 적으나, 극지방으로 갈수록 점차 증가된다. 또한 수증기의 함유량은 대기온도와 밀접한 상관관계가 있으며, 사막지대를 제외한 낮은 위도대에서 상대적으로 높게 나타나고 있다. 또한 저지대는 고지대에 비해 대기 중에 하부 먼지층이나 수증기에 의해 산란 및 흡수가 일어나 일사가 많이 감소되는데, 이와 같은 이유는 대기중의 하부 먼지층과 수증기가 대부분 지표면상에서 0~3km 높이 사이에서 존재하고 있기 때문이다. 이들 층에서의 먼지와 수증기의 양은 일반적으로 계절적 및 지리적 변화에 따라 달라지며, 일반적으로 고지대는 저지대보다 대기중의 대기오염물, 부유분진 및 수증기 등에 의한 일사량 감소를 덜 받는다.

따라서, 본 연구에서는 고온에너지의 이용을 위하여 일사의 대기투과율이 높고 감소현상이 보다 적은 고지대에 입사하는 일사에너지가 저지대에 비하여 상대적으로 얼마나 덜 차단하는지를 이론적인 고찰 및 실험을 통하여 평가하고자 하였으며, 이 결과는 태양열발전을 비롯하여 태양집광 시스템의 최적지 선정에 기초자료를 제공하는데 널리 응용이 될 것으로 기대된다.

2. 이론적 배경

2-1. 일사량과 대기상태와의 상관관계

태양광선은 대기권밖으로 부터 지구의 대기층을 통과할 때 일부는 흡수되거나 산란되고, 일부는 다시 대기권밖으로 재반사된다. 따라서, 지표면에 도달되는 유효일사량은 대기 자체의 특성에 의해 밀접한 영향을 받게되며, 대기를 구성하는 분자는 각각 특유한 파장역

에서 일사를 흡수한다.

대기밖의 태양방사는 X선(파장 $<10\text{\AA}$ 을 비롯해서 극단자외선(파장 $10\text{\AA}\sim 2000\text{\AA}$ 으로부터 중간자외선(파장 $2000\text{\AA}\sim 3150\text{\AA}$ 까지 짧은 파장의 빛도 포함하고 있으나 이것들은 초고층의 대기중의 분자로 완전히 흡수되어 지구표면에 도달하지 않으며, 지상에 도달하는 최단의 파장은 약 3000\AA 이내 이다. 또한 일사의 최장의 파장은 대략 $5\mu\text{m}$ ($1\mu\text{m}=10^4\text{\AA}$)이며, 물론 이것보다도 긴 방사가 포함되어 있지만 그 에너지는 극히 적어 문제가 되지 않는다. 이와같이 일사의 파장역내에서는 일사에 뚜렷한 흡수의 효과를 나타내는 것으로 수증기에 의한 흡수, 오존의 흡수, Mie산란, Rayleigh 산란 등이 있다.

1) 수증기 등의 분자에 의한 흡수

수증기의 흡수는 일사의 장파장측, 즉 근적외역(近赤外域)에 집중되어 있고, 비교적 좁은 파장역에서 강한 흡수를 나타내는 6개의 흡수대로 나뉘어져 있다. 각각의 흡수의 강도는 다르지만 실제의 흡수량은 대기중에 포함되는 수증기량에 따라 결정된다.

오존의 흡수는 수증기와 반대로 자외역(紫外域)에 대단히 강한 흡수대를 가지며, 가시역에 약한 흡수대를 가지고 있다. 또한 오존은 고도 약 20km 부근의 대기중에서 극대농도를 가진 오존층을 형성하여 3000\AA 부근의 자외선을 강하게 흡수하고, 지표면에 도달하는 자외선에 크게 영향을 주고 있다.

15°C , 1기압으로 $l(\text{cm})$ 의 두께를 가지는 오존층만의 기체를 생각하고, 여기에 $I_0(\lambda)$ 의 강도를 가지는 파장 λ 의 일사가 입사할 때, 이층을 통과한 투사일사강도 $I(\lambda)$ 의 흡수계수 k 는 다음 식으로 정의할 수 있다.

$$I(\lambda)=I_0(\lambda) \exp (-k_l l) \dots\dots\dots(1)$$

2) 부유입자(浮游立子)에 의한 산란

지구대기에 입사한 일사는 수증기와 오존에 의한 흡수현상외에 공기분자와 부유입자인 에어로졸에 의한 산란의 효과를 받는다. 흡수의 현상이 특정의 파장영역에 한정되어 있는데 대하여 산란은 전파장에 걸쳐서 나타난다.

대기내에 생기는 일사의 산란현상은 공기분자에 의한 것과 에어로졸(aerosol)입자에 의한 것과는 상당히 다르다. 이것은 입사하는 파장에 대하여 공기분자는 극히 작은데 반하여 에어로졸입자는 대단히 크고, 그 반경은 파장과 거의 같은 특성을 가지고 있다.

공기분자에 의한 산란은 레이리(Rayleigh) 산란이라 불리우며, 에어로졸입자에 의한 산란은 미(Mie)산란이라 한다. 레이리산란의 특징은 분자에 의해서 산란되는 빛이 입사광이 나아가는 방향과 반대의 방향으로 대칭적으로 분포된다. 이때,

$$I\lambda(\theta) = V^2(n_1^2 - 1)^2 (1 + \cos^2 \theta) 2R^2\lambda^4 \dots(2)$$

로 표시된다. 여기서, V는 산란하는 공기분자의 체적, R은 V의 중심과 관측점의 거리이며, n_1 는 공기분자의 굴절율, θ 는 입사광의 방향에서 쥘 산란각이다. 또한 식 (2)는 입사광의 강도를 1로 본 경우이며, $\theta < 90^\circ$ 의 범위를 전방산란역(前方散亂域), $\theta > 90^\circ$ 의 범위를 후방산란역(後方散亂域)이라고 한다. 그러나 이 식에서 전방산란과 후방산란은 같으며, 산란각에 대해서 전역에 걸쳐 적분하면, 산란광의 총량을 얻을 수 있다. 이것을 식으로 나타내면,

$$\sigma_1 = 32\pi^3(n_1 - 1)^2/3N\lambda^4 \dots\dots\dots(3)$$

로 표시된다. 여기서, N은 단의체적중의 공기분자의 수이다. 식 (3)을 보면 산란 광의 세기는 파장 λ 의 4승에 역비례하고 있음을 알 수

있다. 이것은 단파장의 빛은 대기층을 통과할 때에 상당히 산란되어지는 반면에, 장파장의 빛은 거의 산란되지 않음을 의미하며, 이것은 하늘이 파랗게 보이는 원인이 된다.

미산란의 특징은 전방산란과 후방산란의 강도가 비대칭이고, 전방산란측이 매우 강하다. 또한 1개의 입자에 의해서 산란된 빛의 세기의 각도분포를 나타내는 식은 앞의 레이리산란과 같이 간단하게 표시할 수 없으며, 이것이 에어로졸입자를 포함하는 대기를 투과하는 일사량을 구하는 경우에 문제를 어렵게 하고 있다.

대기중에는 여러가지 반경을 가진 에어로졸 입자가 존재하고 있고, 그 양과 입경(粒徑)분포는 항상 변동하고 있다. 공기분자만이라고 가정된 대기의 경우 즉, 레이리대기에는 지표면에 입사하는 일사량은 계산에 의해서 완전한 이해를 얻는데 반하여 에어로졸을 포함한 대기의 경우에는 이해를 얻는 것이 대단히 어렵다. 이것은 앞에서 언급한 것 처럼 입자에 의한 산란의 현상이 복잡하고, 동시에 실정을 아는 것이 어려우며, 그 변동 역시 매우 심하기 때문이다.

에어로졸의 산란에 의해서 생기는 하나의 현상으로서 태양주변광(aureole)이 있다. 이것은 산란 입자에 의한 산란광의 강도가 산란각의 작은 영역에서 대단히 강하기 때문에 생기는 것으로, 특히 태양으로부터의 각도가 약 10° 보다 적은 영역의 하늘의 밝기는 매우 크게 나타나고 있다. 또한 이것은 육안으로 볼 때 태양의 주변이 희게 빛나고 있는 현상으로 그 밝기는 에어로졸 상태에 따라 다르게 나타나고 있다.

이와 같이 에어로졸의 효과는 실제 대기중의 현상을 복잡하게 하고 있으나, 아직도 그 실정은 완전히 파악되지 않고 있다. 에어로졸

의 입경(立徑)분포의 평균상태는 $n(r)=Cr^{-v}$ 의 형태로 표시되며, 용계분포 혹은 지수법칙분포라고 불리운다. 여기서, v 의 값으로서는 2.5~4.0 범위의 수치가 사용되고 있으며, 입자의 반경 r 은 일사에 효과를 미치는 영역으로 그 범위는 $0.05\sim 10\mu m$ 이다.

2-2. 일사측정에 의한 대기의 청명도 분석

일사량은 앞절에서 언급한 바와 같이 대기권내의 여러가지 작용을 거쳐 지표면에 도달하게 되므로 대기권밖 일사량의 값은 지표면에 입사하는 수평면 전일사량에 비해 현저한 차이를 보이게 된다. 그러므로 청명한 날이나 대기상태가 오염되지 않은 조건하에서의 일사량은 보다 증가할 것이며, 흐린 날이나 오염된 대기에서는 대기권내에서 흡수되는 일사량이 증가하여 상대적으로 지표면에 도달하는 일사량은 감소된다.

따라서, 일사량은 태양에너지 이용시스템의 설계자료로서의 이용뿐만 아니라 대기상태의 분석에도 필연적인 것으로서 이에 대한 정확한 정보를 얻기 위해서는 대기권밖 일사량의 산출 역시 필수 불가결한 것이다.

청명도(clearness index)는 청명한 날에 측정된 수평면 전일사량, H 을 대기권밖 일사량, H_0 로 나누어 그 값을 구하며, 다음 식에 의하여 산출할 수 있다.

$$K_t = H/H_0 \dots\dots\dots(4)$$

청명도 값이 1에 가까울수록 천공(天空)상태가 맑다고 할 수 있으며, 구름의 영향을 전혀 받지않는 청명한 날에 측정지역들간의 청명도를 서로 비교하여 봄으로써 이들 지역의 매연, 부유분진, 배기개스 등에 의한 대기오염 상태를 예측할 수 있다.

여기서, 청명한 상태의 정의는 하늘에 구름이 완전히 덮은 상태를 운량 1로 보고, 운량(雲量)이 0~0.1 사이인 경우로서 기상청이 발표한 지역별 기상자료에 의한다.

한편, 대기권밖 일사량의 해석에 있어 Liu와 Jordan의 해석방법은 Klein Duffie와 Beckman에 의해 발전되어 시간별 및 일별에 따른 대기권밖 일사량을 식 (5)와 식 (6)과 같이 제시하였다.

$$I_0 = 12 \times 3600 / \pi \cdot G_{sc} [1 + 0.033 \cos(360n/365)] \times [\cos\phi \cos\delta (\sin\omega_2 - \sin\omega_1) + 2\pi(\omega_2 - \omega_1) / 360 \cdot \sin\phi \sin\delta] \dots\dots\dots(5)$$

$$H_0 = 24 \times 3600 / \pi \cdot G_{sc} [1 + 0.033 \cos(360n/365)] \times [\cos\phi \cos\delta \sin\omega_s + 2\pi\omega_s / 360 \cdot \sin\phi \sin\delta] \dots\dots\dots(6)$$

- 여기서,
- G_{sc} : 태양상수 (1,353 W/m²)
- n : 통산일
- ϕ : 해당지방의 위도
- δ : 일적위
- $\delta = 23.45 \sin(360 \cdot 284n/365)$
- ω_s : 일몰시간각
- $\cos \omega_s = -\tan\phi \tan\delta$
- $\omega_{1,2}$: 시간각 ($\omega_2 > \omega_1$, 15°=1hr : A.M -, M+)

2-3. 청명일사량 예측방법

1) 청명 직달일사량(Clear Sky Beam Radiation)

1976년 Hottel은 4가지 유형의 기후형태에 대하여 표준 대기상태의 고도나 천정각 등을 고려한 대기중을 통과하는 직달일사량을 평가

하는 편리한 방법을 제시하였다.
직달일사량의 대기투과율 τ_b 는

$$\tau_b = a_0 + a_1 \cdot e^{-k/\cos \theta_z} \dots\dots\dots(7)$$

와 같은 형태로 주어진다.

시도(visibility) 23km의 표준 대기상태의 상수 a_0, a_1, k 는 다음에 제시된 고도 2.5km 미만에서의 상수 a_0^*, a_1^*, k^* 로 부터 산출할 수 있다.

즉,

$$a_0^* = 0.4237 - 0.00821 (6 - A)^2$$

$$a_1^* = 0.5055 - 0.00595 (6.5 - A)^2 \dots\dots\dots(8)$$

$$k^* = 0.2711 - 0.01858 (2.5 - A)^2$$

여기서, A는 관측치의 고도(km)이다.

기후형태가 변화하는 것을 참작하여 상수 a_0^*, a_1^*, k^* 에 보정계수가 적용된다. 즉, 보정계수는 $r_0 = a_0/a_0^*, r_1 = a_1/a_1^*, r_k = k/k^*$ 로 표시되며, Table 1에 제시하였다.

따라서, 직달일사량에 대한 이와 같은 표준 대기상태하의 투과율이 2.5km 이상인 임의의 고도나 천정각에 대하여 결정될 수가 있다.

Table 1. Correction factors for climate types

기 후 형 태	r_0	r_1	r_k	비 고
열 대 지 방	0.95	0.98	1.02	
중위도지방의 여름	0.97	0.99	1.02	우리나라 (6, 7, 8월)
아북극지방의 여름	0.99	0.99	1.01	우리나라 (3, 4, 5, 9, 10, 11월)
중위도지방의 겨울	1.03	1.01	1.00	우리나라(12, 1, 2월)

*Hottel(1977)

그러므로 청명한 상태에서 수직으로 입사되는 법선면 직달일사량(Beam Normal Radiation)은

$$G_{cnb} = G_{on} \tau_b \dots\dots\dots(9)$$

G_{on} : 법선면상에서의 대기권밖 일사량

$$G_{on} = G_{sc}[1 + 0.033\cos(360n/365)]$$

G_{sc} : 태양상수 (1,353 W/m²)

n : 통산일 (julian date)

이다. 따라서, 같은 조건하에서 수평면상에 입사되는 직달일사량(Horizontal Beam Radiation)은

$$G_{cb} = G_{on} \tau_b \cos \theta_z \dots\dots\dots(10)$$

이다. 다시 이 수평면상의 직달일사량을 시간당으로 계산하면,

$$I_{cb} = I_{on} \tau_b \cos \theta_z \dots\dots\dots(11)$$

θ_z : 천정각

$$\cos \theta_z = \cos \delta \cos \phi \cos \omega + \sin \delta \sin \phi$$

δ : 일적위

$$= 23.45 \sin[360(284 + n/365)]$$

ϕ : 해당지방의 위도

ω : 시간각($\omega/hr = 15^\circ$, A.M. -, P.M. +)

와 같다.

2) 청명 산란일사량(Clear Sky Diffuse Radiation)

앞에서와 같이 청명한 조건하에서 수평면이 실제로 받는 전체 일사량을 알기 위 해서는 같은 조건하에서 산란일사량을 평가해야 할 필요성이 따른다. 이미 1960년에 Liu와 Jordan은 이미 청명한 날에 대하여 직달일사의 투과계수와 산란일사간의 관계를 다음과 같은 경험식으로 나타내었다.

$$\tau_d = 0.2710 - 0.2939\tau_b \dots\dots\dots(12)$$

여기서, G_d/G_o 혹은 I_d/I_o , 즉 대기권밖 수평

면일사량에 대한 산란일사율 의 비이며, 식 (12)는 3개 지역의 자료를 토대로 한 것이다.

한편, 청명한 날 산란일사량은 다음과 같은 일반식으로 계산한다.

$$G_{cd} = G_{on} \tau_d \cos \theta_z \dots\dots\dots(13)$$

또한, 입사되는 시간별 산란일사량 I_{cd} 는

$$I_{cd} = I_{on} \tau_d \cos \theta_z \dots\dots\dots(14)$$

이다.

3) 청명일 총일사량(Clear Sky Total Radiation)

따라서, 청명한 날의 수평면일사량의 산출은

$$G_c = G_{cb} + G_{cd} \dots\dots\dots(15)$$

- G_c : 청명일 수평면일사량
- G_{cb} : 청명일 직달일사량
- G_{cd} : 청명일 산란일사량

가 되며, 같은 조건하에서 청명일 시간별 수평면일사량은 I_c 는

$$I_c = I_{cb} + I_{cd} \dots\dots\dots(16)$$

- I_c : 청명일 시간별 수평면일사량
- I_{cb} : 청명일 시간별 직달일사량
- I_{cd} : 청명일 시간별 산란일사량

으로 표현된다.

3. 측정장소의 선정과 측정시스템 구성

3-1. 측정지 선정

고온에너지의 이용을 위하여 태양열발전 및 태양집광시스템의 설치가 절실히 요구되는 고지대에서의 수평면 전일사량자원 특성을 조사하기 위하여 경상북도 영주군과 충청북도 단양군 사이, 소백산맥의 초백에 있는 소백산과 인접 저지대 지역인 경상북도 영풍군 풍기에 각각 일사측정장비를 설치하고, 고지대와 저지대와의 직접적인 측정자료의 상호비교가 가능하도록 하였다.

측정지 선정에 고려된 사항은 우선, 장비의 운영을 위하여 한전 계통선이 연계된 지역과 측정장비의 관리가 용이한 지역으로 선정하기 위하여 기상청의 협조를 얻어 해당 지역의 기상관측소를 측정지로 하였으며, 또한 측정기기의 설치위치는 각 측정지내에서도 위치가 비교적 높아 주변의 장애물에 의한 영향이 적은 각 건물의 옥상으로 정하였다. 이와 같은 점을 고려하여 선정된 일사량측정지의 위치명세와 설치장소는 Table 2와 같다.

3-2. 측정장치의 구성

본 사업의 기본이 되는 실측목표는 앞으로 예상되는 고지대에서의 태양열발전 및 태양집광시스템의 설치와 관련한 기초자원 평가를 위하여 각 지역의 수평면 전일사량 자료를 확보하는 것으로 이와 같은 목표를 달성하기 위하여 단위 측정지마다 Table 3과 Fig.1과 같

Table 2. List of radiation measurement sites in a high mountain area

측 정 지	설 치 장 소	위도	경도	해발높이	비 고
소 백 산	소백산기상관측소 (건물옥상)	36° 56'	128° 27'	1,340 m	충북 단양군 단양읍 천동리 산 9-5 (제2연화봉)
풍 기	영주기상관측소 (건물옥상)	36° 52'	128° 31'	208 m	경북 영풍군 풍기읍 성대리 240-5

이 측정시스템을 설치 운영하였다.

Table 3. List of measurement equipments of each station

품 명	모 델 명
-수평면일사계(Pyranometer)	Eppley PSP형
-데이터수집장치 (Data Aquisition System)	Handar 570A형
-데이터터미널(Data Terminal)	Toshiba 1000형
-태양전지판(Automatic Solar Tracker)	Integrated Power IP84-A형

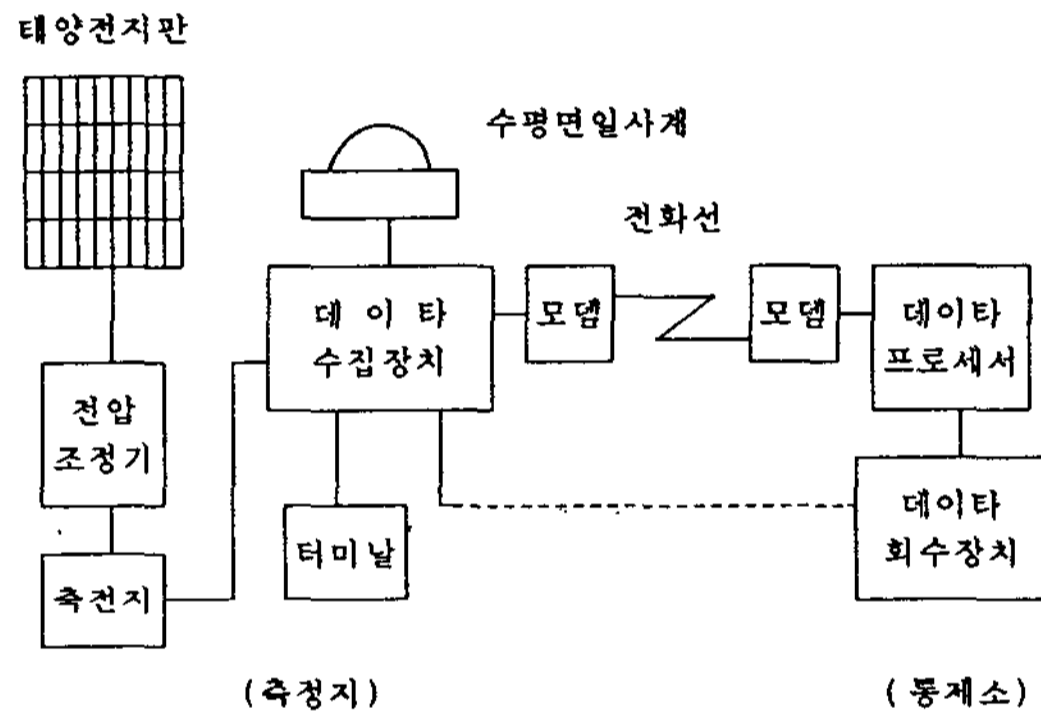


Fig. 1. Measurement system configuration for each station

1) 수평면일사계

미국 Eppley사에서 개발된 것으로 현재 범용으로 공급된 단파대역의 전일사량계(Global Radiation)측정기기 중에서 가장 정밀도가 높은 기기로 평가되고 있으며, 단파대역의 일사에너지 측정뿐만 아니라, 단파장 반사에너지(albedo)의 측정은 물론 태양차폐판(Shadow Band)를 부착하여 사용하여 산란일사량만을 측정할 수 있는 등 용도가 다양하게 사용할 수 있다.

2) 데이터수집장치

미국 Handar사 제품으로 마이크로프로세서에 의해 제어되는 저전력소모형 장비로서

이 장치는 서로다른 종류의 아날로그와 디지털 신호의 입력을 수용할 수 있다.

또한, 반도체 기억장치를 내장하고 있어 약 68,000개 데이터와 운영프로그램을 기억할 수 있는 능력을 갖추고 있으며, 기억장치에 저장된 데이터는 모뎀(modem)에 의해 전화라인으로 데이터를 원격전송할 수 있다.

3) 데이터터미널

데이터터미널은 측정지에서 데이터수집장치에 운영프로그램을 입력시켜 측정된 데이터를 직접 받아들이거나, 데이터수집장치의 측정기능을 조정하고 통제하는 역할을 한다. 이 장비는 야외에서도 운영이 용이하도록 방수와 충격방지를 위해 플라스틱 재질의 케이스 안에 내장되어 있으며, 장시간 독자적으로 가동할 수 있도록 예비전원용 축전지도 갖추고 있다.

4) 태양전지판

광기전력효과에 의하여 직류전기를 발생하는 가장 중요한 부분으로 정전에 대비한 데이터수집장치의 공급전원으로 사용되고 있다. 이에 따른 부속장치로서는 전압조정기와 축전지가 있으며, 전압조정기는 태양전지판이 일사조건에 따라 변화하는 전압을 일정한 전압으로 축전지에 충전하는 기능을 갖고 있다. 또한 축전지장치는 데이터수집장치가 주간에 태양전지판에서 태양빛을 받아 발전된 전력을 야간에도 사용하기 때문에 필수적으로 필요하며, 이를 위해 규격 12V, 6.5AH Ni-Cd 알카리형 축전지를 설치하여 청명한 날 전압조정기를 거쳐 나온 출력전압을 축전지에 저장시킨 뒤에 야간이나 일조시간이 적은 날을 대비하였다.

그 외에 측정지에서 수집된 자료를 연구소

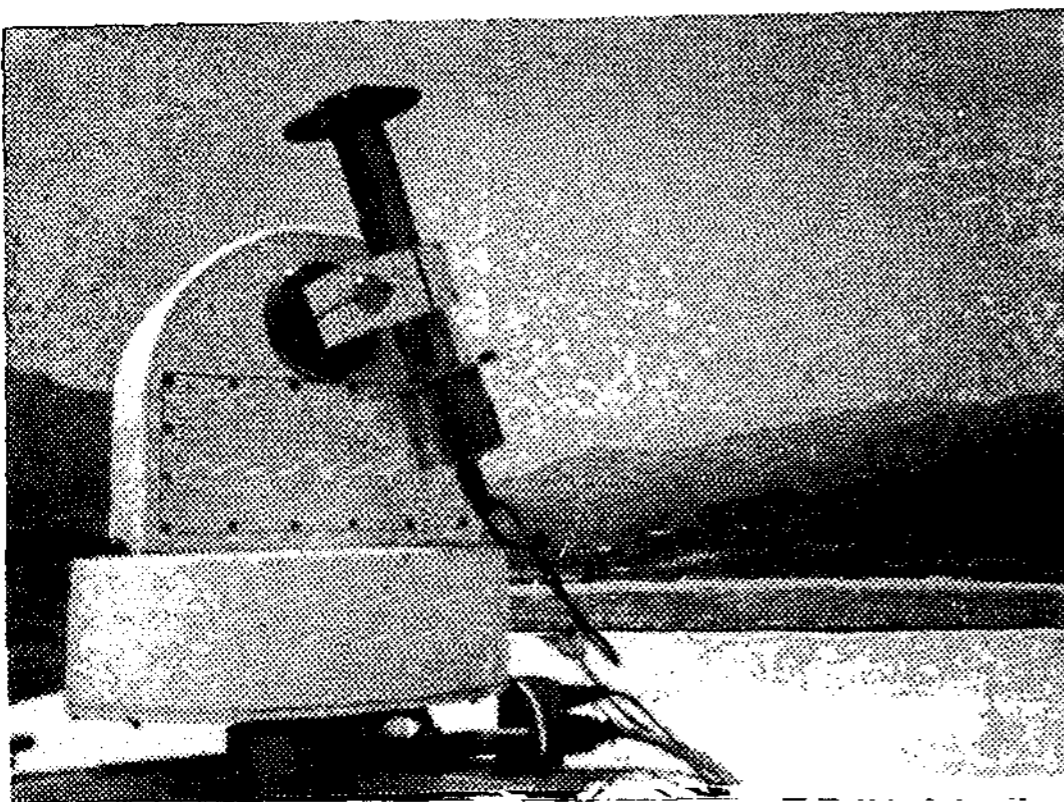
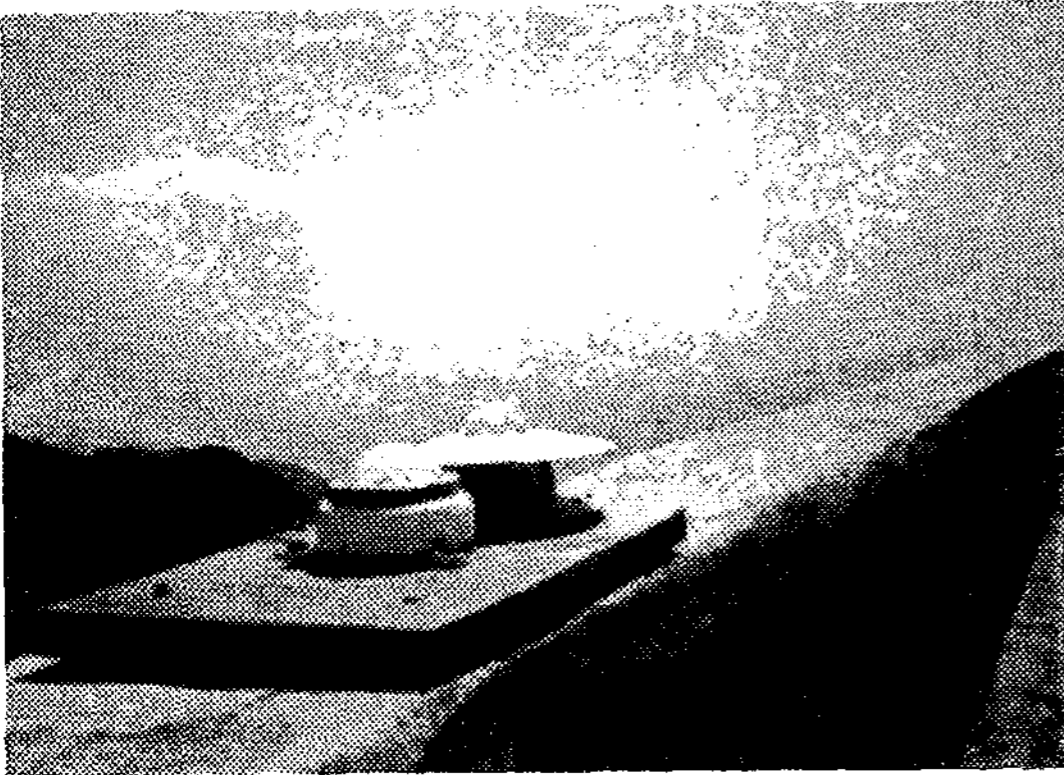


Fig. 2. Spectacles of solar radiation measurement (Mt. Sobaek and Poonggi areas)

로 전송 회수하기 위하여 변복조장치인 모뎀(modem)과 자료회수장치(Data Collecton Set : Handar 545B 형)를 운영하였으며, 다시 전

송 회수된 자료를 DBASE 처리하기 위하여 데이터처리용 컴퓨터(Data Processor : IBM PC 586형)를 사용하였다.

4. 분석 결과

4-1. 양적비교 분석

소백산과 그 인접지역인 풍기지역에서 1994년 7월부터 그 다음해인 1995년 3월까지 약 9개월간에 걸쳐 매시간마다 측정된 데이터를 DBSE 형태로 변환한 후, 그 기간중 청명한 날에 측정된 데이터만을 선정하여 계산된 1일 평균치를 Table 4와 Fig. 3에 월별로 나타내었다. 즉, 이 기간동안에 소백산은 하루동안 지표면에 입사되는 수평면 전일사량은 4,093 kcal/m²로 나타났으며, 풍기는 3,940 kcal/m²으로 나타나, 고지대와 저지대 사이에 다소간의 차이를 보였다. 또한 월별로는 소백산과 풍기가 7월에 하루동안 각각 6,071 kcal/m², 5,960 kcal/m²를 나타내어 각 지역 공히 연중 가장 높은 달로 나타났으며, 가장 적게 나타난 달은 12월로 하루동안 각각 2,311 kcal/m², 2,268 kcal/m² 정도 받는 것으로 나타났다.

계절별에 따른 소백산에 대한 풍기의 수평면 전일사량의 비를 살펴보면, Table 5에서

Table 4. Comparison of monthly averare daily horizontal global radiation for each station

(단위:kcal/m. day)

지역	월	'94. 7	8	9	10	11	12	'95. 1	2	3	평 균
소백산(A)		6,071	6,052	5,015	3,669	3,054	2,311	2,830	3,528	4,303	4,093
풍 기(B)		5,960	5,943	4,834	3,372	2,910	2,268	2,706	3,432	4,033	3,940
A / B		1. 02	1. 02	1. 04	1. 09	1. 05	1. 02	1. 05	1. 03	1. 07	1. 04

청명일 기준

Table 5. Comparison of monthly average daily atmospheric clearness index for each station
(단위:kcal/m²day)

지역	계절	봄	여름	가을	겨울	평균
소백산(A)		4,303	6,062	3,913	2,890	4,093
풍기(B)		4,033	5,952	3,705	2,802	3,940
A / B		1.02	1.06	1.03	1.07	1.04

청명일 기준

보는바와 같이 여름철과 겨울철에는 소백산이 풍기에 비해 6~7% 정도 높게 나타나는 경향을 보인 반면에, 봄철과 가을철에는 서로가 큰 차이를 나타내지 않았다. 이와 같은 원인은 저지대가 고지대에 비해 타계절보다도 여

름철과 겨울철에 대기 중에 수증기나 가스, 먼지에 의한 감쇄현상이 보다 많았기 때문인 것으로 믿어진다.

한편, 시간별에 따른 수평면 전일사량의 변화특성을 살펴보면, Table 6와 Fig 4에서 나타난바와 같이 시간별 최대치는 각 지역 공히 오후 1시경으로 나타났으며, 이때 소백산이 595 kcal/m². hr, 풍기가 580 kcal/m². hr으로 나타나 고지대인 소백산이 저지대인 풍기보다 3% 정도 높게 나타나는 경향을 보였다.

또한, 일출후 태양이 남중하는 정오시까지는 소백산이 풍기보다 3~13% 정도 높게 나타난 반면에, 정오 이후부터 일몰시까지 두 지역간 서로가 거의 차이를 나타내지 않았다.

대기청명도, K_t는 청명한 날 대기권밖 일사량에 대한 지표면에 입사하는 수평면 전일사량 강도의 비, H/H₀로서 청명도 값이 1에 가까울 수록 대기권내에서 태양복사선을 차폐하

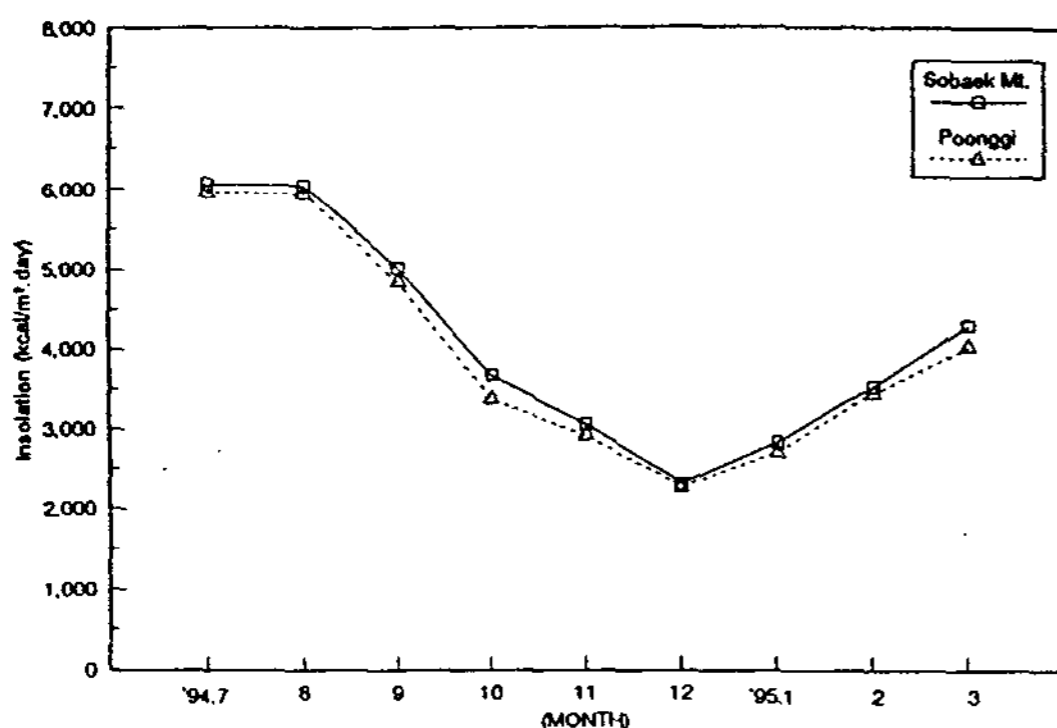


Fig. 3. Monthly average daily horizontal global radiation for Mt. Sobaek and Poonggi areas

Table 6. Comparison of hourly average horizontal global radiation for each station
(단위:kcal/m². hr)

지역	시간	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	합계
소백산(A)		1	21	102	260	398	517	586	595	551	465	334	179	69	15	4093
풍기(B)		0	19	90	231	373	489	557	580	545	460	334	178	68	16	3940
A/B (%)		-	111	113	113	107	106	105	103	101	101	100	101	101	94	104

청명일 기준

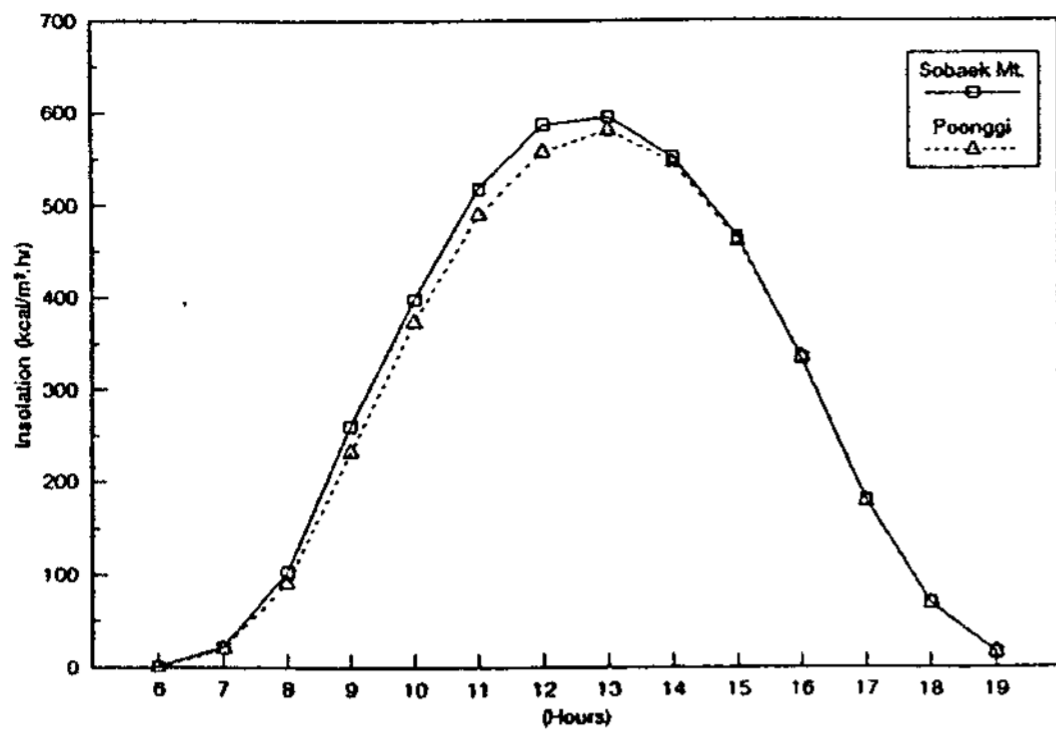


Fig. 4. Hourly average horizontal global radiation for Mt. Sobaek and Poonggi areas

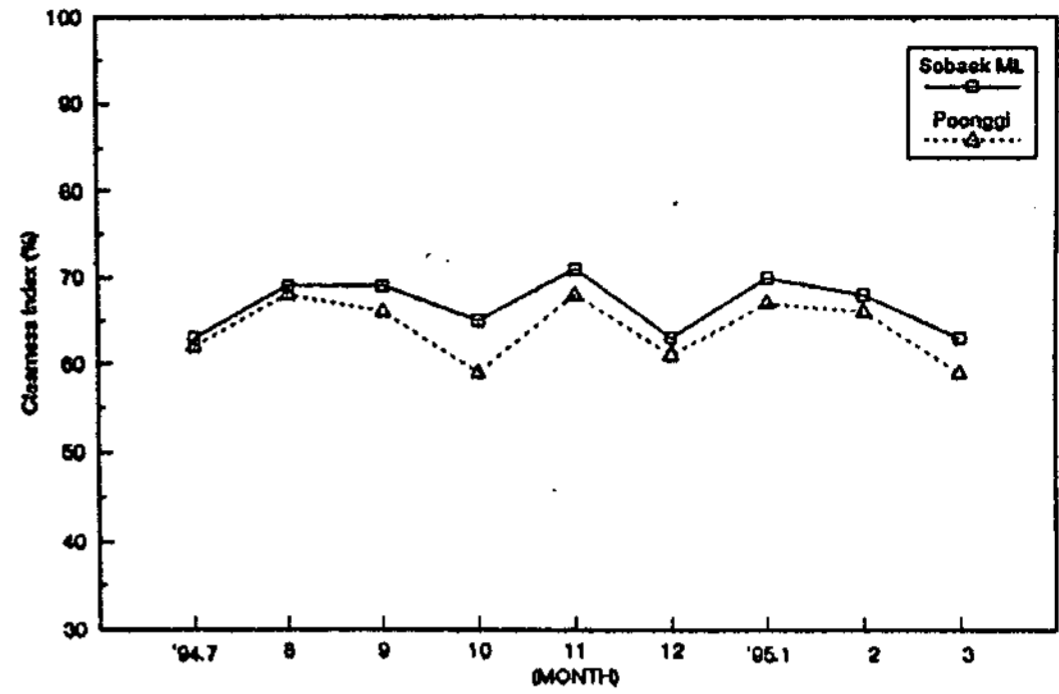


Fig. 5. Monthly average daily atmospheric clearness index in Mt. Sobaek and Poonggi areas

는 요인이 적다는 의미를 내포하며, 일반적으로 이 값은 지역이나 계절, 시각에 따라 변동한다.

Table 7과 Fig 5에서 보는바와 같이 청명도가 가장 높았던 달은 각 지역 공히 11월달로 나타났으며, 가장 낮았던 달은 3월달로 나타났다. 또한 두지역간에 가장 높게 차이를 나타낸 달은 10월달로 소백산이 풍기에 비해 무려 6%나 높게 나타났으며, 반면에 차이가 거의 없었던 달은 7월과 8월달로 각각 나타났다.

계절별로는 Table 8에서 나타난바와 같이 각 지역 공히 봄철이 타계절보다 낮게 나타나는 경향을 보였으며, 특히 저지대인 풍기는

Table 8. Comparison of seasonally average atmospheric clearness index in each station

(단위 : %)

계절 지역	봄	여름	가을	겨울	평균
소백산 (A)	63	66	68	67	67
풍기 (B)	59	65	64	65	64
A - B	+4	+1	+4	+2	+3

청명일 기준

소백산보다 타계절에 비해 봄철에 상당히 낮게 나타났다. 또한 풍기는 소백산보다 타계절에 비해 봄과 가을철에 상당히 차이를 보여

Table 7. Comparison of monthly average daily atmospheric clearness index for each station

(단위 : %)

지역	월	'94. 7	8	9	10	11	12	'95. 1	2	3	평균
소백산(A)		63	69	69	65	71	63	70	68	63	67
풍기(B)		62	68	66	59	68	61	67	66	59	64
A - B		+1	+1	+3	+6	+3	+2	+3	+2	+4	+3

청명일 기준

이들철에 저지대가 고지대에 비해 하부면지층이나 수증기에 의한 일사의 감쇄가 많음을 짐작할 수 있다.

4-2. 시뮬레이션 분석

앞 절에서 설명된 청명일사량의 예측을 위해 널리 이용되고 있는 Hottel의 경험식을 실제 적용하여 산출된 지역별 수평면 전일사량의 예측치를 실측치와 비교하여 보면, Table 9와 Fig 6에서 보는바와 같이 예측치는 전년에 걸쳐 소백산의 경우는 평균 +7.1%, 그리고 풍기는 +0.3% 정도 실측치와의 오차를 나타내어 각 지역 공히 예측치는 실측치와 거의 유사한 값을 나타내었으며, 특히 예측치는 저지대일 수록 더욱 실측치와 근접된 값을 나타내는 경향을 보였다. 따라서 실증실험을 통하여 얻은 결과는 Hottel의 경험식을 고지대보다는 저지대에 적용하는 것이 보다 실측치와의 오차를 적게하는 것으로 입증되었다.

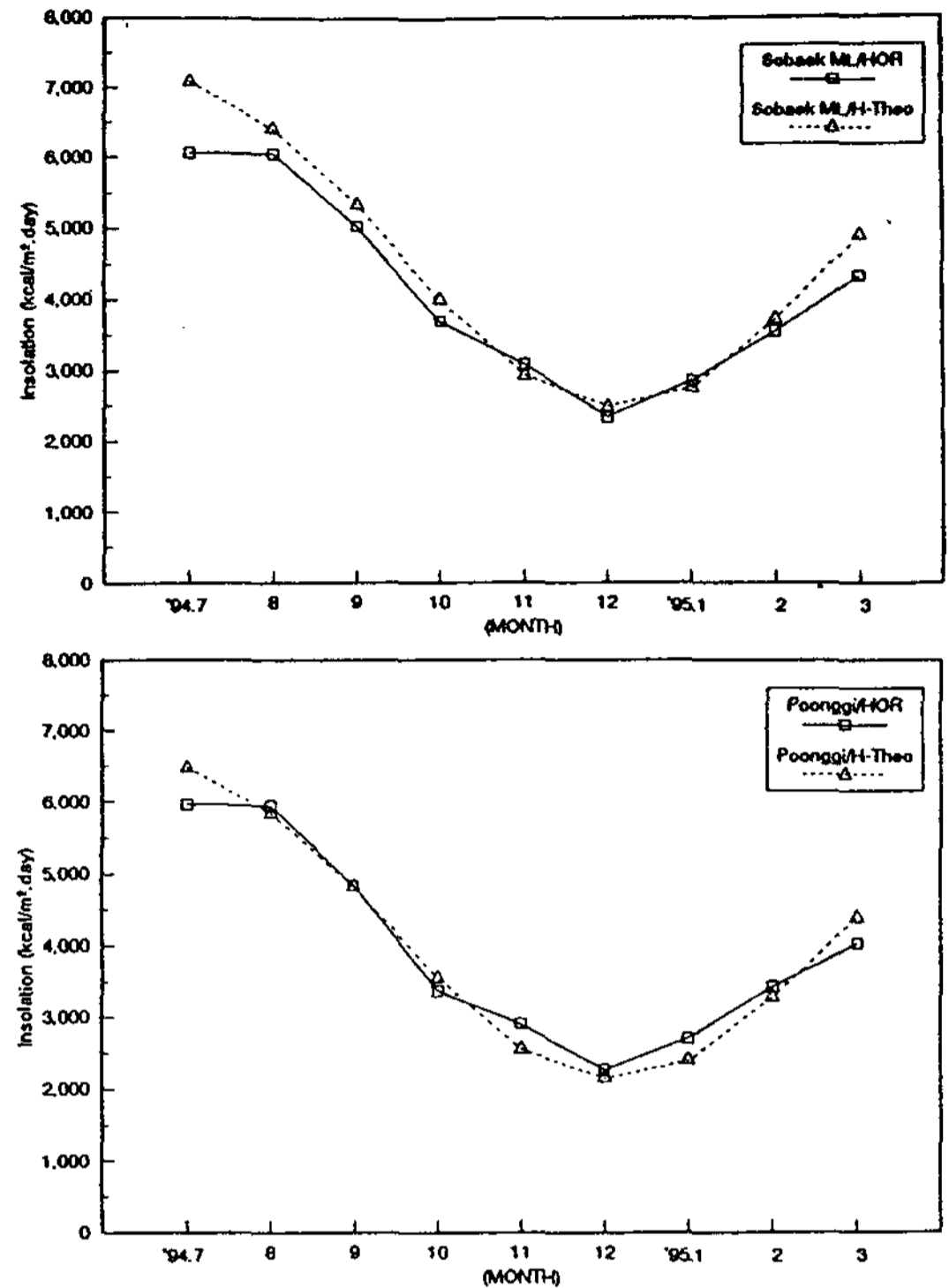


Fig. 6. Comparison between the monthly average daily observed and estimated horizontal global radiation in each station for clear day

Table 9. Comparison between the monthly average daily observed and estimated horizontal global radiation in each station

지역 : 소백산 (고도 1,340m)

(단위:kcal/m. day)

구분	월	'94. 7	8	9	10	11	12	'95. 1	2	3	평 균
실 측 치		6,071	6,052	5,015	3,669	3,054	2,311	2,830	3,528	4,303	4,093
예 측 치		7,089	6,404	5,322	3,972	2,899	2,461	2,729	3,696	4,870	4,382
오 차 (%)		+16. 8	+5. 8	+6. 1	+8. 2	-5. 1	+6. 5	-3. 6	+4. 8	+13. 2	+7. 1

청명일 기준

지역 : 소백산 (고도 208m)

(단위:kcal/m. day)

구분	월	'94. 7	8	9	10	11	12	'95. 1	2	3	평 균
실 측 치		5,960	5,943	4,834	3,372	2,910	2,268	2,706	3,432	4,033	3,940
예 측 치		6,473	5,835	4,815	3,556	2,561	2,154	2,398	3,288	4,391	3,941
오 차 (%)		+8. 6	-1. 8	-0. 4	+5. 5	-12. 0	-5. 0	-11. 3	-4. 2	+8. 9	+0. 3

청명일 기준

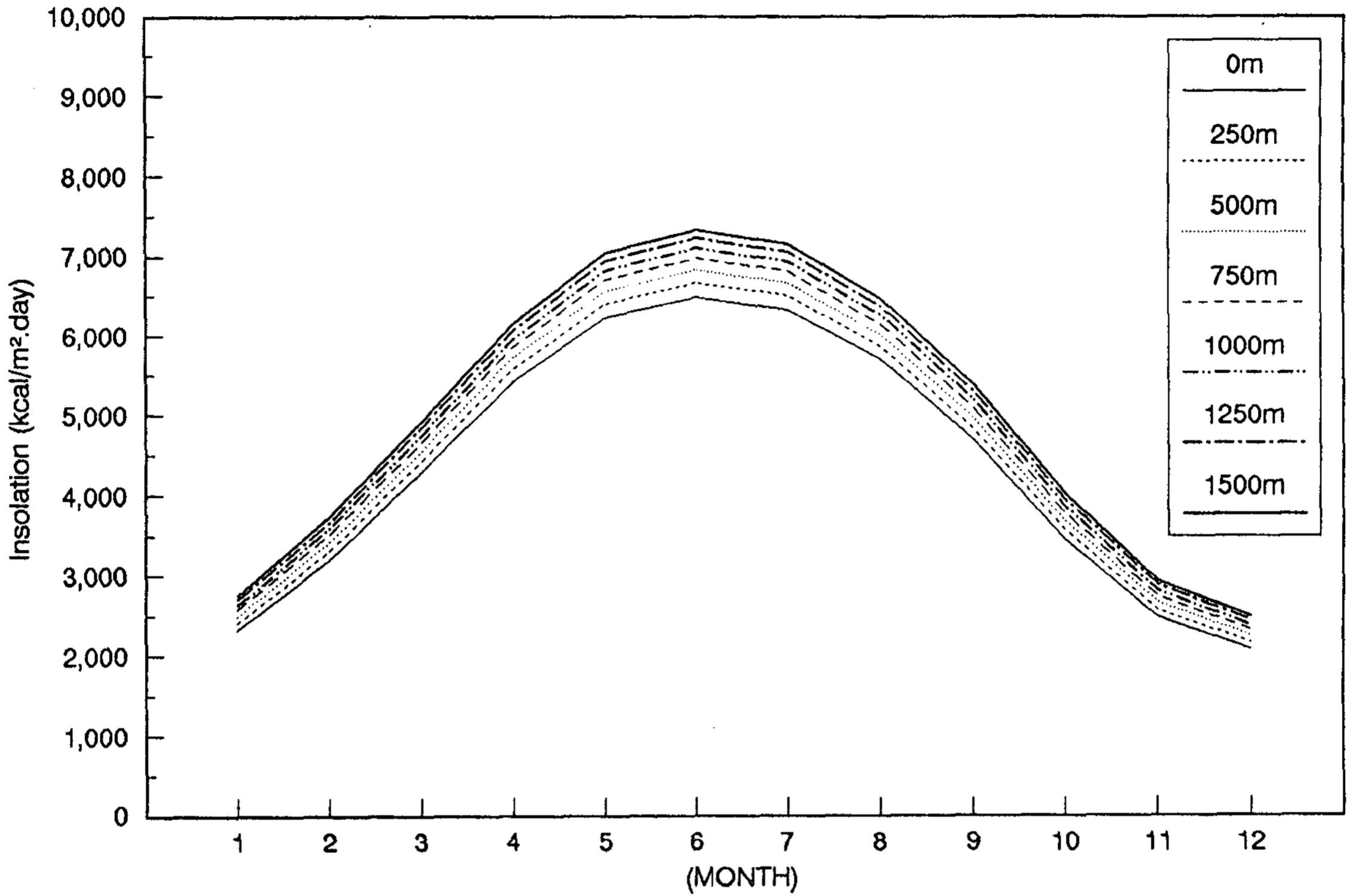


Fig. 7 Estimated horizontal global radiation by altitude simulation in Mt. Sobaek for clear day

Table 10. Estimated horizontal global radiation for simulation in Mt. Sobaek

(단위:kcal/m². day)

월 고도(m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	평균
0	2313	3185	4272	5416	6218	6484	6327	5698	4690	3451	2475	2075	4384
250	2406	3300	4407	5574	6392	6661	6501	5859	4833	3569	2569	2161	4519
500	2492	3406	4532	5719	6551	6823	6660	6007	4965	3677	2657	2240	4644
750	2571	3503	4645	5851	6696	6971	6805	6141	5085	3776	2738	2314	4758
1000	2643	3591	4748	5969	6827	7104	6935	6262	5193	3866	2811	2381	4861
1250	2708	3669	4839	6075	6943	7222	7051	6369	5290	3946	2877	2441	4953
1500	2765	3739	4920	6168	7045	7325	7152	6463	5375	4016	2935	2495	5033

청명일 기준

또한, Hottel의 경험식을 적용하여 소백산 지역을 고도별로 구분하여 시뮬레이션 예측치를 산출하여 보면, Table 10과 Fig. 7에서 보는바와 같이 고도 250m 간격마다 2~3% 정도의 일사량 증가율을 보이는 것으로 나타났다. 이와 같이 고지대로 올라갈수록 더욱 일사량이 증가하는 원인은 고도가 높을 수록 대기중에서 일사를 감소시키는 관련 매개변수에 대한 영향을 적게 받기 때문으로 생각한다.

5. 결론

지금까지 수행해 온 청명일 기준으로 한 고산지대에 대한 일사량자원 평가를 종합하여 분석해 볼 때, 다음과 같은 결론을 얻게 된다.

- 1994년 7월부터 1995년 3월까지 기간동안 청명한 날에 소백산은 하루동안 지표면에 입사되는 수평면 전일사량은 4,093 kcal/m²로 나타났으며, 풍기는 3,940 kcal/m²으로 나타나, 고지대와 저지대 사이에 다소간의 차이를 보였다.
- 월별로는 소백산과 풍기가 7월에 하루동안 각각 6,071 kcal/m², 5,960 kcal/m²를 나타내어 각 지역 공히 연중 가장 높은 달로 나타났으며, 가장 적게 나타난 달은 12월로 하루동안 각각 2,311 kcal/m², 2,268 kcal/m² 정도 받는 것으로 나타났다.
- 계절별로는 여름철과 겨울철에는 소백산이 풍기에 비해 6~7% 정도 높게 나타나는 경향을 보인 반면에, 봄철과 가을철에는 서로가 큰 차이를 나타내지 않았다.
- 시간별 변화특성은 시간별 최대치가 각 지역 공히 오후 1시경으로 나타났으며, 일출 후 태양이 남중하는 정오시까지는 소백산이 풍기보다 3~13% 정도 높게 나타났으나, 정오 이후부터 일몰시까지로는 두지역간 서로

가 거의 차이를 나타내지 않았다.

- 대기청명도가 가장 높았던 달은 각 지역 공히 11월달로 나타났으며, 가장 낮았던 달은 3월달로 나타났다. 또한 두지역간에 가장 높게 차이를 나타낸 달은 10월달로 소백산이 풍기에 비해 무려 6%나 높게 나타났으며, 반면에 차이가 거의 없었던 달은 7월과 8월달로 각각 나타났다.
- 시뮬레이션 분석결과는 고도 250m마다 2~3% 정도의 일사량 증가율을 보여 고도가 높을 수록 대기중에서 일사를 감소시키는 관련 매개변수에 대한 영향을 적게 받는 것으로 나타났다.

그러나 현시점에서 볼 때, 측정기간이 충분하지 않기 때문에 현재까지의 결과만을 가지고 우리나라 고지대 전지역에 대한 일사량자원 평가는 아직 어려운 실정이다. 이에따라 여러 고지대지역에 대한 장기적인 일사량 측정뿐만 아니라 앞으로는 본 연구를 바탕으로 고도나 대기혼탁도 등에 따른 일사량의 변동형태 등 각종 기후조건과의 연관성을 규명하여 우리나라 고지대지역에 일사예측을 위한 적합한 이론식을 유추해 나아갈 계획이다.

REFERENCES

1. 기상청, "기상년. 월보", 1982~1993.
2. 기상청, "한국기후표 (1951~1980)", 제1권 (1982), 제2권 (1983).
3. 이남호외, 태양에너지 자원조사 및 신제품 성능 비교연구 I, II, III, IV, 한국에너지기술연구소, 1982~1985.
4. 최영희 외, 국내일사량의 성분 및 가용량 평가 I, II, III, 한국동력자원 연구소, 1989~1991.
5. 노재식, 국내 지역별 통계적 기상자료 II,

- 공업진흥청, 1979.
6. 노재식, 일사량, 태양에너지연구소, 1980.
 7. 소선섭, 이천우, 기상관측법, 교문사, 1986.
 8. Duffie J. A. and Beckman W. A, Solar Engineering of Thermal Processes, Wiley New York, 1980.
 9. Lunde P. J., Solar Thermal Engineering, John Wiley & Sons New York, 1980.
 10. Dickinson W. C. and Cheremisinoff P. N, Solar Energy Technolog Handbook, Marcel Dekker Inc., 1981.
 11. Gorden J. M. & Hochman M., On Correlation between Beam and Glogal Radiation, Solar Energy Vol. 32, pp. 319-326, 1983.
 12. Iqbal M. , An Introduction to Solar Radiation Academic Press Toronto, 1983.
 13. Ledanois J. M. and A. Prieto, A New Solar Map of Venezuela, Solar Energy Vol. 41, No. 2, pp. 115-126, 1988.
 14. Davies J. A. and Mckay D. C., Estimating Solar Radiation from Incomplete Cloud Data, Solar Energy Vol. 41, No. 1, pp. 15-18, 1988.
 15. Hays J. E., An Assessment of Mesoscale Variability of Solar Radiation at the Earth's Surface, Solar Energy Vol. 32, pp. 425-434, 1984.

Solar Radiation Measurement and Analysis of a High Mountain Area

Jo, Dok-Ki* · Lee, Tae-Kyu* · Chun, Il-Soo* · Jeon, Hong-Seok* · Auh, Chung-Moo

* *Korea Institute of Energy Research*

ABSTRACT

Site elevation is one of the major factors which is influencing the incoming insolation. Because nonpermanent gases like ozone, water vapor are unmixed components of the atmosphere and their concentrations are function of height, the site elevation effects the relative proportion of the atmospheric constituents.

We have measured solar radiation on Sobaek(1,350m) and in Poonggi area(280m). These values were compared to investigate the their characteristics and the potential for the solar utilization as an alternative energy for both high altitude area and low altitude area.

From the results, we conclude that

- 1) Yearly mean 4,093 kcal/m². day of the horizontal global radiation in Mt. Sobaek was evaluated for clear day.
- 2) Insolation on Mt. Sobaek is 6~7% higher than Poonggi area during summer and winter seasons.
- 3) A significant difference of atmospheric clearness index is observed between Mt. Sobaek and Poonggi area at the same latitude.