

## 釜山地方의 雲量에 따른 日射量의 變化

조병길 · 이부용 · 문승의

부산대학교 대기과학과  
(1994년 7월 23일 접수)

### Variation of the Insolation by Cloud Cover over Pusan in Korea

Byung-Gil Cho, Bu-Yong Lee and Sung-Eui Moon

*Dept. of Atmospheric Science, Pusan National University, Pusan, 609-735, Korea*  
(Manuscript received 23 July 1994)

#### Abstract

In order to examine the effect on the insolation of cloud cover, we analyzed the data of the insolation, cloud cover and surface air pressure in Pusan during the period of 1991. 10 - 1993.1.

At first, we investigate the atmospheric transmissivity  $A(t)$  using the Beer's law at clear skies. The atmospheric transmissivity is characterized by cold season high and warm season low. From this atmospheric transmissivity, the empirical formula that shows the variation of the insolation due to the cloud cover is obtained.

The result formula is  $I = I_0 A(t^n) (0.7 - 0.05 \times m)$ .  $I$  is the insolation that reaches the surface when cloud cover is  $m$  and  $I_0$  is solar constant. Although the result is some rough it seems meaningful that the estimation of insolation can be made only from the routine data.

Key Words : atmospheric transmissivity, cloud cover, insolation

#### 1. 서 론

오염 물질의 확산이나 대기의 여러현상을 설명하기 위해서는 대기운동의 원동력이 되는 태양복사에 대한 이해가 필요하다. 대기 상단에 입사한 태양복사는 지표면에 도달하기까지 대기중의 공기분자와 부유미립자 그리고 구름에 의해 감쇠된다. 일반적으로 일사량에 대한 연구는 대기 투과도와 연관되어 이루어지고 있는데, 대기투과도에 관한 연구는 대부분 구름의 효과가 없는 청천인 경우에 행해지고 있다(Coulson, 1975; Reed, 1977; Justus

와 Paris, 1985; 조희구 외, 1988). 그리고 구름에 따른 일사량의 변화에 관한 연구로는 일조시간에 따른 변화(Glover와 Mc Culloch, 1958; Linacre, 1967)와 운량에 따른 변화(Budyko, 1974; Kondratyev, 1969; 김유근 외, 1992)로 나뉘어져 진행되고 있다.

본 연구는 부산지방을 연구지역으로, 지표에 도달하는 일사량으로부터 대기 투과도의 연중 변화를 조사하고, 이 결과로부터 운량에 의한 일사량의 변화를 고찰하여 부산지방에서 응용되고 있는 여러 모형에 필요한 지표에서의 일사값을 기상대

의 정규 기상관측 자료로부터 추정할 수 있는 실험식을 구하고자 하는 것이다.

## 2. 자료

분석에는 부산지방 기상청(34° N, 135° E)에서 1991년 10월부터 1993년 1월까지의 약 16개월동안 관측한 직달일사량, 운량 그리고 지상기압의 자료를 이용하였다. 이 중 직달일사량은 동력자원부 태양에너지 응용연구실이 부산기상청 내에 설치한 추적형 직달일사계(모델명 HNDAR 5700a)에서 매시간 관측한 값이며, 운량과 지표기압의 값은 일일 기상통계표에서 수집하였다. 한편 부산지방 기상대에서는 직달일사량과 함께 전천일사량을 관측하고 있는데, 직달일사량이 전천일사량의 10%를 넘지 않는 경우의 자료는 관측상의 오차로 간주하고 본 연구에서는 제외하였다.

## 3. 분석방법 및 결과

지구에 입사되는 일사는 대기 상단에서 지표면에 이르기까지 대기를 통과하면서 산란 및 흡수 반사등에 의해 여러가지 감쇠 과정을 거치게 된다. 또한 이런 감쇠는 대기중에 포함되어 있는 수증기와 에어로졸의 양에 따라 달라지나 본 연구에서는 이들의 양에 따른 변화를 고려하지 않고 단지 대기 전체를 하나로 보아 Beer의 법칙을 이용하여 대기 전체의 투과율을 구하였다.

광로를 따라 대기상단에서 지표까지 Beer의 법칙을 적분하면

$$I_{cl} = I_0 \exp(-Sn) = I_0 A^n \quad (1)$$

이다. 여기서  $I_0$ 는 태양상수로, 여기서는  $1367.2 \text{ W m}^{-2}$ 로 일정하게 두었다.  $I_{cl}$ 은 운량이 0인 날 지표에 도달하는 일사량으로 관측된 값을 이용하였으며,  $S$ 는 대기 전체의 소산계수이다.  $n$ 은 태양이 천정에 있는 경우에 태양광선이 통과하는 대기량을 1이라고 보고, 태양의 고도에 따라 태양광선

이 통과하는 대기량을 나타낸다. 결국  $n$ 은 태양의 천정 각을  $\theta$ 일 때  $\sec \theta$ 와 같다. 그러나 여기에서는  $n$ 을 계산할 때 계절에 따라 변화하는 태양의 고도뿐만 아니라 대기량의 변화도 고려하여 다음과 같이 구하였다. 표준기압이  $P_0$ 이고, 관측된 지상기압을  $P$ 라 할 때  $n$ 은

$$n = \left( \frac{P}{P_0} \sec \theta \right) \quad (2)$$

이다.  $A$ 는 표준기압하에서 태양이 천정에 있을 때 즉  $n=1$  일 때의 대기 투과율을 나타낸다. 결국 대기 투과율  $A$ 는 (1)식으로 부터

$$A = \left( \frac{I_{cl}}{I_0} \right)^{1/n} \quad (3)$$

이 된다.

(3)식으로부터 구한 부산지방에서의 월 평균 대기투과율을 Fig.1에 나타내었다. Fig.1을 보면 알 수 있듯이 부산지방의 대기 투과율은 대체로 11월에서 2월까지의 한후기가 3월에서 9월까지의 난후기 보다 높게 나타나고 있는데 이는 우리나라의 기후 특성으로 생각된다. 한후기의 높은 대기투과율은 한랭 건조한 시베리아고기압에 의한 깨끗한 공기의 유입으로, 난후기의 낮은 대기투과율은 이동성고기압과 북태평양 고기압의 영향하에서 기단이 변질되어 대기가 혼탁해진 결과로 판단된다. 특히 3월은 0.40으로 가장 낮게 나타나는데 이는 봄철에 우리나라에 자주 나타나는 황사현상등에서 비롯된 낮은 시정의 영향으로 사료되어 진다. 이

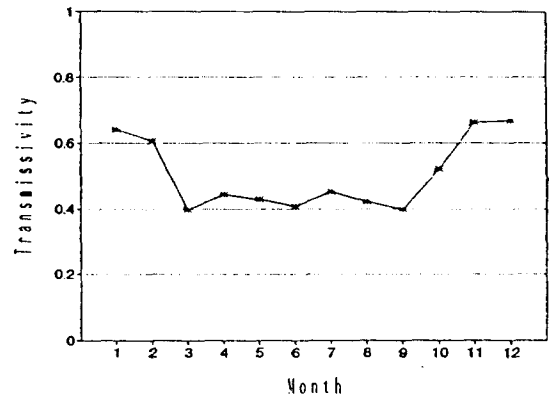


Fig. 1. Monthly mean transmissivity at Pusan (1991.10-1993.11)

진다. 이 연변화는 강만수(1984)가 조사한 서울에서의 대기 투과율의 변화 경향과 유사하나, 연구기간동안의 대기 평균 투과율은 0.50로 강만수(1984)가 서울에서 측정한 값 0.65보다는 다소 낮게 나타나고 있다.

한편 지표에 도달하는 일사량은 구름의 두께, 형태, 양등에 따라 크게 변하게 되는데 이는 구름이 일조시간뿐만 아니라 지표에 도달하는 일사의 세기에도 영향을 주기 때문이다. 본 연구에서는 기상대에서 관측하는 전층운량을 이용하여, 운량에 따라 지표에 도달하는 일사량의 변화를 청천일사량과 비교하여 알아보코자 하였다.

먼저 구름이 있는 날은 청천일사량을 관측할 수 없기때문에 이 날의 대기투과율을 (3)식으로 구할 수 없다. 연구기간 동안의 이런 날들의 대기투과율은 청천일의 일사량이 관측된 날의 대기투과율로부터 Fourier Smoothing Method를 통하여 추정하였다. 그 결과의 회귀곡선을 Fig.2에 실선으로 나타내었다. 각 점들은 관측된 청천일사량으로부터 10일 평균하여 구해진 값들이다. 연구기간 동안의 대기투과율에 대한 회귀식은

$$A(t) = 0.518 + 0.143\cos(2\pi t/440) - 0.071\sin(2\pi t/440) + 0.025\sin(2\pi t/220) - 0.023\sin(2\pi t/220) + 0.023\sin(2\pi t/110) \quad (4)$$

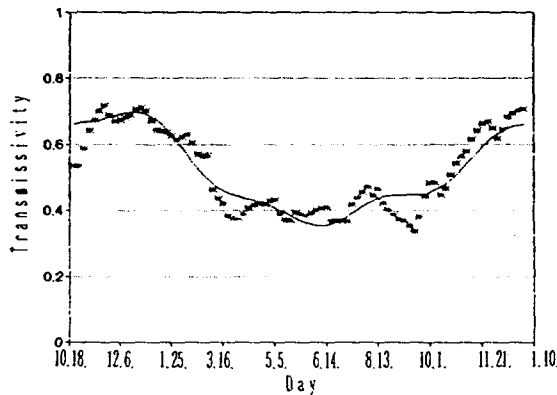


Fig. 2. The variation of transmissivity and the regressive curve is calculated by the Fourier smoothing method.

과 같다. 여기서 t는 관측기간의 첫날인 1991년 10월 18일을 시작으로 한 일 단위의 시간 값이다.

연구기간 동안 각 운량에서 관측된 지표면의 일사량 I와 (4)식의 대기투과율을 이용하여 그 관측시각에 계산한 청천일사량  $I_{cl}$ 의 비를 조사하여 운량의 영향을 연구하였다. Fig.3은 각 운량에서 I와  $I_{cl}$ 비의 평균값과 이것으로부터 구한 회귀식을 나타낸 것이다. 그 회귀식은 아래와 같다.

$$I = I_{cl}(0.70 - 0.05 \times m) \quad (5.a)$$

$$= I_0 A(t)^m (0.70 - 0.05 \times m) \quad (5.b)$$

여기서 m은 운량을 나타낸다. 위의 식은 Kimball(1928)이 미국에서 관측한 일평균 운량 ( $m_m$ )과 일평균 일사량으로부터 구한 식

$$I_s = I_m(1 - 0.7 \times m_m) \quad (6)$$

과 유사하다. 여기서  $I_m$ 은 구름이 없을 경우 지면에서의 일평균 일사량이다. (6)식은 아직도 많은 논문에서 지면에서의 일사량을 추정하는데 이용하고 있다(Miyazaki, 1952; MMO, 1972). Fig.3에서 볼 수 있듯이 운량이 증가할수록 지면에 도달하는 일사량은 구름이 없는 경우에 비하여 현저하게 줄어들고 있으며, 운량과 지표에 도달하는 일사량과의 상관계수는 0.98으로 높은 상관관계를 나타나고 있다.

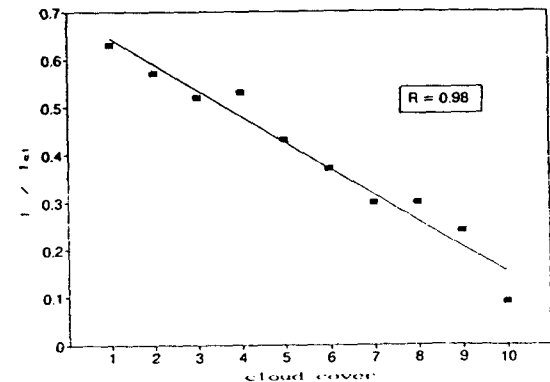


Fig. 3. The relation of the measured insolation(I)/ the calculated insolation at clear skies( $I_{cl}$ ) and the cloud cover, the solid line is calculated by the least squares method. R is regression coefficient.

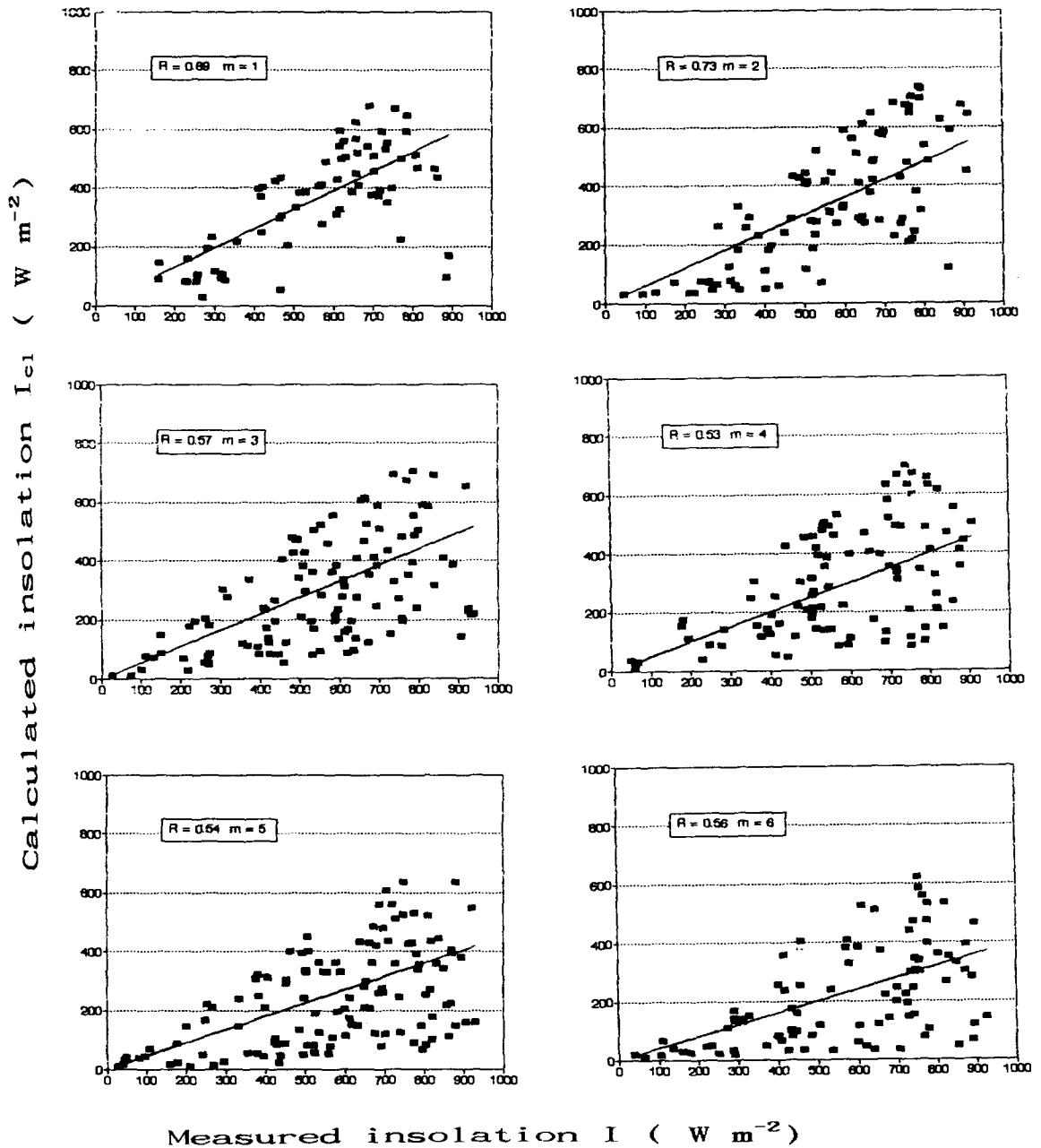


Fig. 4. The mesured insolation( $I$ ) versus the calculated insolation at clear skies( $I_{c1}$ ) for each cloud cover is 1. The solid line is calculated by formula (5).  $R$  is a regressin coefficient.  $m$  is the cloud cover.

Figs. 4는 각 운량에 따른 관측된 일사량  $I$ 와 계산된 청천일사량  $I_{c1}$ 의 관계와 (5.a)를 이용하여 나타낸 회귀직선, 그리고 회귀직선과 관측치 사이

의 상관계수를 나타낸 것이다. 운량이 7이하인 경우에는 비교적 관측된 일사량과 본 연구에서 구한 회귀직선과의 관계가 잘 일치하고 있으나, 운량이

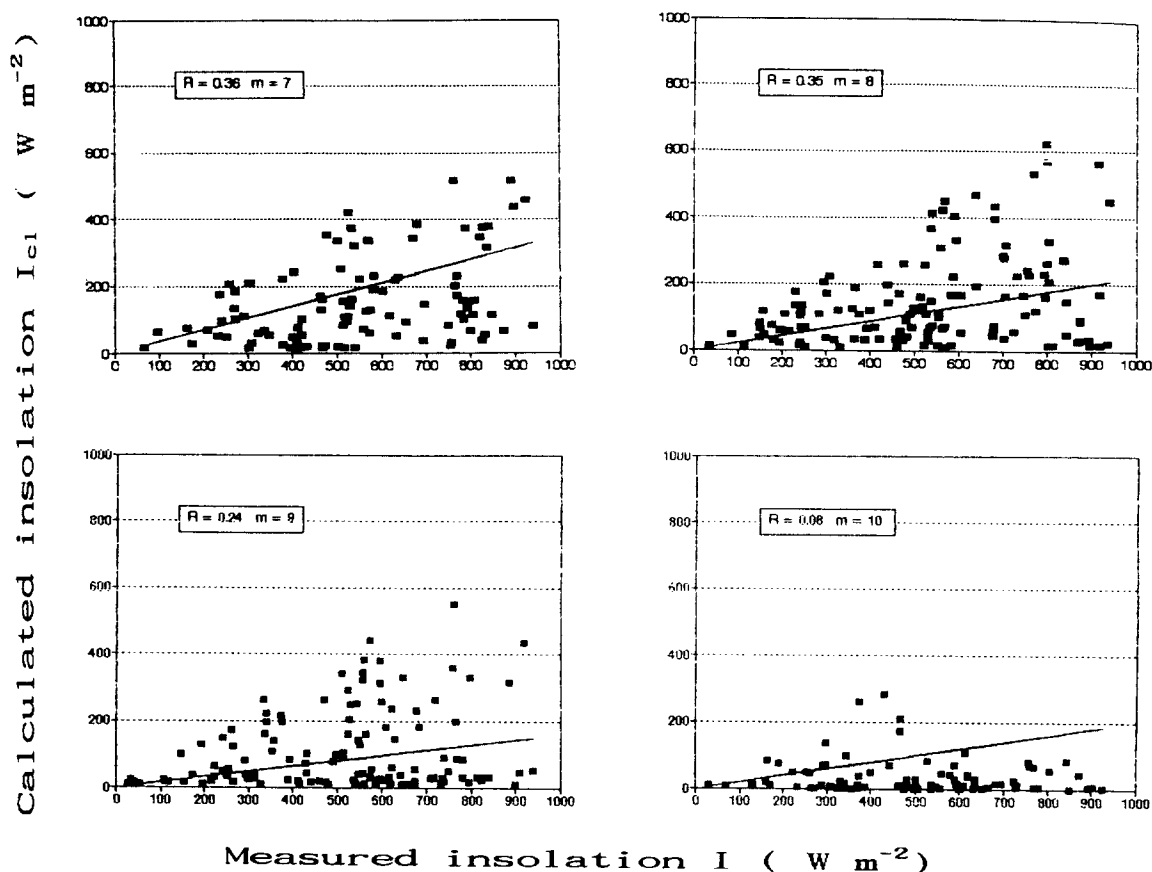


Fig. 4 continued.

8이상인 경우에는 그 상관이 낮아지고 있는데 이는 운량이 overcast에 가까울수록 지표에 도달하는 일사량은 그 강도에 관계없이 현저하게 작아지고 있기때문이다.

이상에서 볼 때 일사량에 대한 구름의 영향을 운고, 운형 또는 구름의 두께에 관계없이 추정하는데는 다소 무리가 있으나 단지 기상대에서 일상적으로 관측하고 있는 운량의 자료만으로 구하고자 할 때 (5)식은 각 운량에서 일사량의 평균상태를 잘 표현하고 있다고 생각되어진다.

#### 4. 결 과

1991년 10월부터 1993년 1월까지의 16개월 동안 부산지방기상대에서 관측된 직달일사량, 운량 그리고 기압의 자료로부터 Beer의 법칙을 이용하여 구한 연구기간 동안의 대기 투과율은

$$\begin{aligned}
 A(t) = & 0.518 + 0.143\text{COS}(2\pi t/440) \\
 & - 0.071\text{SIN}(2\pi t/440) \\
 & + 0.025\text{SIN}(2\pi t/220) \\
 & - 0.023\text{SIN}(2\pi t/220) \\
 & + 0.023\text{SIN}(2\pi t/110)
 \end{aligned}$$

로 조사되었으며, 이로부터 운량(m)에 따른 지표

에서의 일사량은

$$I = I_0 (0.70 - 0.05 \times m)$$

$$= I_0 A(t)^n (0.70 - 0.05 \times m)$$

의 경험식을 구하였다. 이 경험식은 일사량에 대한 구름의 영향을 운형이나, 운고 또는 구름의 두께에 관계없이 단지 전층 운량만으로 추정하는데는 다소 무리가 있으나 단지 기상대에서 관측하는 자료만으로 보다 근접한 일사값을 추정하는데에는 의미가 있으리라 생각되어진다.

### 참 고 문 헌

- 강만수, 1984, 에어로졸 입자에 의한 서울의 대기 투과율 변화, 서울대학교 석사학위논문.
- 김유근, 장은숙, 진병화, 1992, 운량과 지형조건에 의한 대기 투과도의 변화, 한국지구과학회지, 13(3), 342~354.
- 조희구, 이태영, 이방용, 이규태, 1988, 맑은 날씨에 지면에서의 파장별 직달 일사량 추정을 위한 모형연구, 한국기상학회지, 4, 8~12.
- Budyko, M. I., 1974, Climate and Life, Academic Press, N.Y., 508pp.
- Coulson, K. L., 1975, Solar and Terrestrial Radiation, Academic Press, N.Y., 322pp.
- Glover, J. and Mc Culloch, J.S.G., 1958, The empirical relation between solar radiation and hours of sunshine, Quart. J. Roy. Meteorol. Soc., 84, 172~175.
- Justus C. G. and Paris M. V., 1985, A model for solar spectral irradiance and radiance at the bottom and top of a cloudless atmosphere., J. Cli. Appli. Meteor., 24(3), 193~205.
- Kimball, H. H., 1928, Amount of solar radiation that reaches the surface of the earth on the land and on the sea, and methods by which it is measured. Mon. Wea. Rev., 56(10), 393~399.
- Kondratyev, K. Ya, 1969, Radiation in the Atmosphere, Academic Press, N.Y., 912pp.
- Linacre, E. T., 1967, Climate and the evaporation from crops, J. Irrig. Drain. Div., Proc. ASCE 93(IR4), 61~79.
- Maizuru Marine Observatory(MMO), 1972, Marine meteorological study of the Japan Sea. Technical Report of the Japan Meteorological Agency, No. 80, 1~116.
- Miyazaki, M., 1952, The heat budget in the Japan Sea. Bull. Hokkaido Reg. Fish. Res. Lab., 4, 1~54.