

【論文】

플라스틱 하우스의 直達 및 散亂 日射量 解析

Analysis of Direct and Diffuse Radiation in Plastic Greenhouse

高學均,* 金文基,** 金容顯***

Hak-Kyun Koh Moon-Ki Kim Yong-Hyeon Kim

ABSTRACT

Direct and diffuse components of solar radiation were measured inside and outside a single-span plastic greenhouse. To analyze the direct solar radiation inside the plastic greenhouse, the cross-section of the greenhouse was assumed to be circular. Then the direct solar radiation transmitted into the greenhouse was calculated theoretically, and compared with the experimental measurements. The results are summarized as follows:

- (1) The transmissivities of total solar radiation were about 65% on cloudy days and 50% on clear days. For cloudy days, the transmissivity of the total solar radiation was regarded as the transmissivity of sky diffuse radiation.
- (2) The ratio of the inside effective scattered component of direct solar radiation to the diffuse radiation was 60-65%.
- (3) It appeared that the seasonal variation of the transmissivity of total solar radiation was adversely affected by the transmissivity of direct solar radiation and the effective scattered coefficient. But the effect of the transmissivity of direct solar radiation was dominant factor.
- (4) Computer simulation showed that the inside direct solar radiation was decreased as the floor of the plastic greenhouse was higher.
- (5) The predicted value of the inside direct solar radiation was 3.3% to 29.0% higher than the measured value.

I. 緒論

플라스틱 필름과 같은 저렴한 하우스 被覆

材의 대량 생산 보급과 더불어 하우스 構造物의 標準化 및 보급에 따라, 아치型 플라스틱 하우스를 이용한 施設園藝 재배 면적의 증가가 급속하게 이루어지고 있다. 이러한 型의 하우스는 터널 하우스(tunnel house) 또는 農産物 乾燥를 위한 簡易施設등과 유사한 형태를 갖는다. 플라스틱 하우스는 유리 溫室에 비하여 日

* 正會員 : 서울大學校 農工學科

** 서울大學校 農工學科

*** 正會員 : 서울大學校 大學院

射量 透過率에 미치는 構造物의 영향이 비교적 적을 뿐만 아니라, 파이프 組立 및 分解가 容易한 利點을 지니고 있다.

한편, 플라스틱 하우스에 사용되는 피복재는 대개 壽命이 1年 未滿으로 짧을 뿐더러, 汚染 現象과 하우스 內面의 凝縮 現象이 유리에 비해서 두드러지게 나타난다.

大氣圈內로 入射된 太陽光은 대기를 구성하는 分子들에 의해서 吸收 및 散亂되어 地表面에 도달한다. 이 가운데 직접 지표면에 도달한 부분을 直達日射量(direct radiation)이라 부르고, 大氣의 分子 또는 浮乳 粒子에 의해서 散亂된 부분은 散亂日射量(diffuse radiation) 또는 天空日射量(sky radiation)이라 불리운다. 任意의 지역의 日射量은 日時, 緯度, 地表面의 方向 및 傾斜 등에 따라 변하며 日射量 分析에 이용되는 기상 자료는 그 지역 全日射量인 水平面日射量을 나타내기 때문에 이를 直達 및 散亂 成分으로 구분하여 解析해야 한다.

太陽熱 集熱器의 설계시 對象 지역에 대한 日射量의 精確한 資料가 要求된다. 평판형 集열기의 경우 集熱量 등의 계산에 日射를 直達 및 散亂成分으로 구분하여 측정할 필요가

없으나, 집광형 集열기는 直達日射를 분리하여 측정하여야 한다.

하우스 피복면에 도달한 直達일사 및 散亂일사 성분은 피복재를 투과하는 가운데 피복재의 오염 및 응축 현상 등에 의해서 각각 투과율이 감소되어, 결국 하우스 내부 일사량의 감소 현상을 초래하게 한다.

본 연구에서는 아치형 플라스틱 하우스의 외부 및 내부에서 직달일사와 산란일사에 관한 case study 를 실시하고, 하우스의 형태를 圓筒 模型으로 가정하여 시기 변화에 따른 직달 및 산란일사의 성분별 透過率을 분석하였다.

II. 太陽에너지의 特性과 日射量 分析

2-1 太陽 位置의 公式

任意의 方位를 갖는 수평면과 직달일사량 사이의 幾何學的 關係, 즉, 수평면에 대한 태양의 위치가 여러 각도에 의해서 표시된다. 太陽光이 수평면과 이루는 기하학적 형태는 太陽 赤緯, 時間角, 太陽 高度角, 太陽方位角 등으로 구성된다. 이들을 Fig. 1 과 Fig. 2 를 참조로 하여 정의하면 다음과 같다.

太陽 赤緯 (δ ; solar declination)

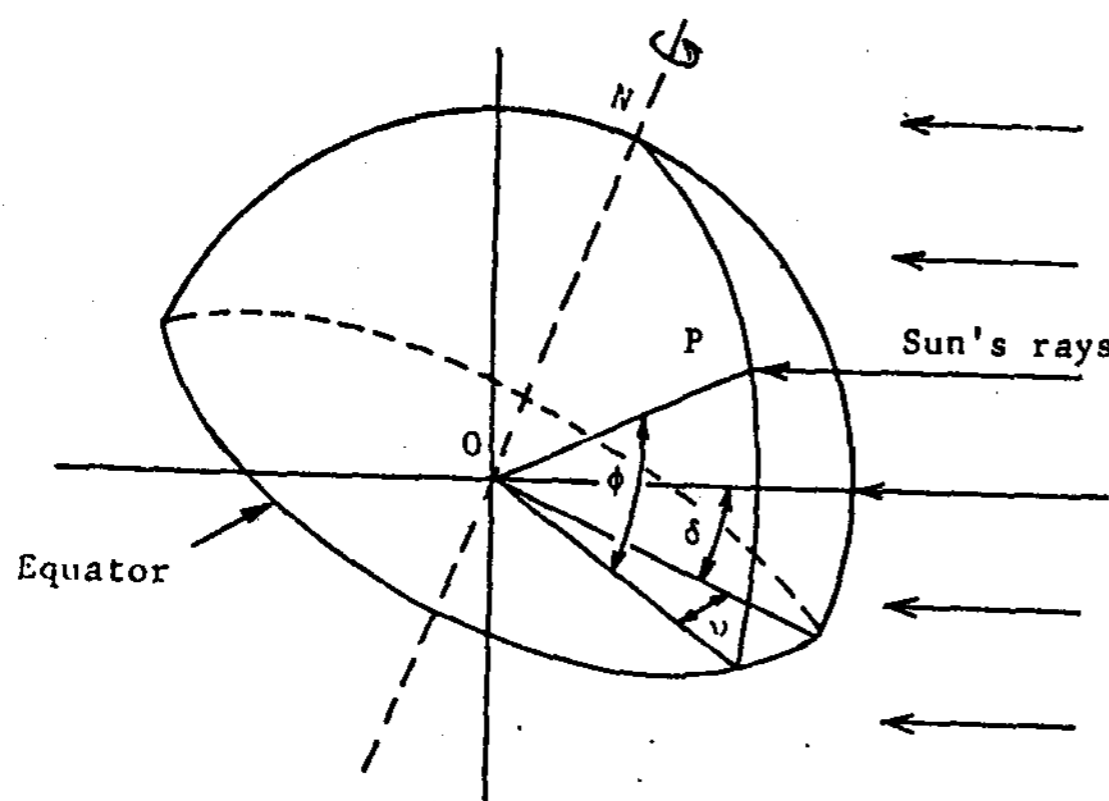


Fig. 1 Latitude, hour angle, and sun's declination

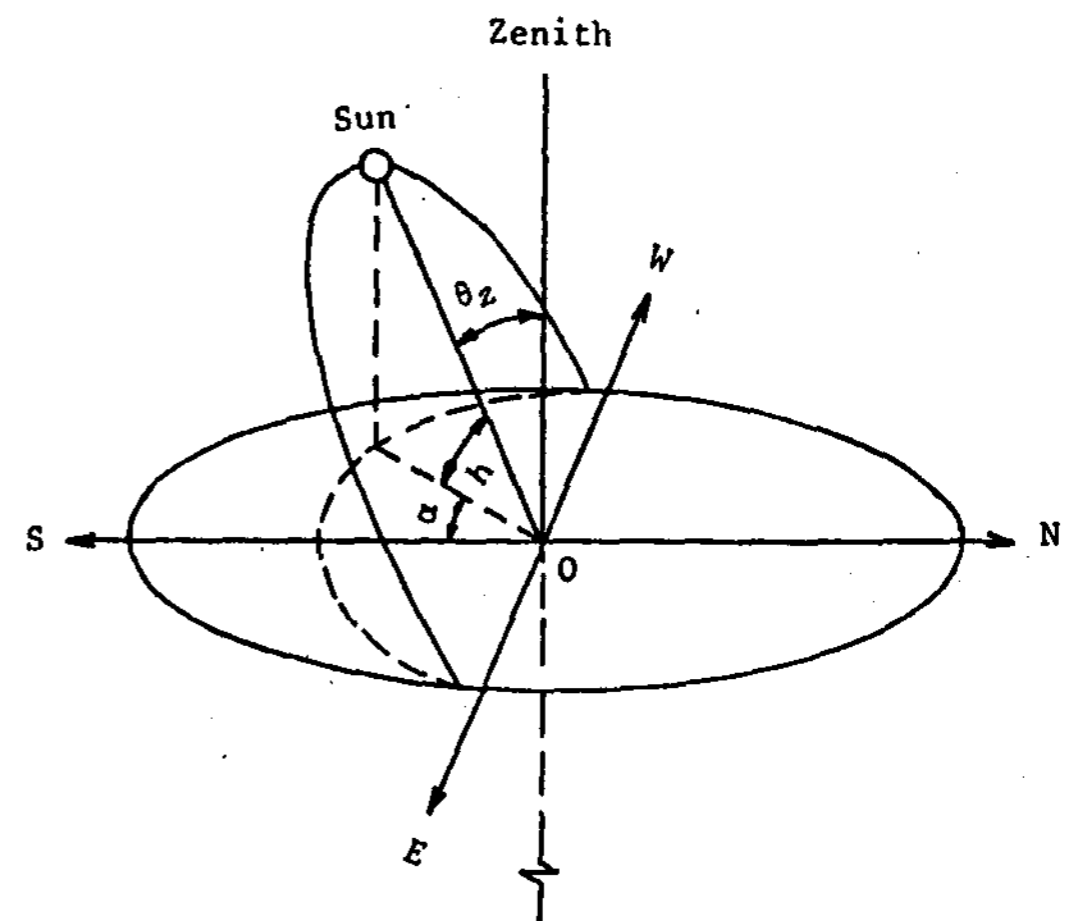


Fig. 2 Definition of sun's zenith, altitude, and azimuth angles

$$\delta = 32.45 \sin \left\{ 360 \frac{(284 + n)}{365} \right\} \dots \dots \dots (1)$$

n : 年中通算日數

時間角 (ν; hour angle)

$$\nu = 15 (T - 12) + L - 135 + e/4 \dots \dots \dots (2)$$

T : 地方時 (local solar time)

L : 地方時 지역의 經度 (meridian)

e : 時間 方程式 (Equation of time)

$$= 9.87 \sin 2B - 7.53 \cos B - 1.5 \sin B \dots \dots (3)$$

$$B = 360 (n - 81) / 364 \dots \dots \dots (4)$$

n : 年中通算日數

太陽 高度角 (h; solar altitude angle)은 太陽光과 태양광의 수평면 投影線이 이루는 수직면 사이의 角으로 정의되는 데 이것과 태양광이 天頂點에서의 수직선과 이루는 天頂角 (θz; zenith angle)과는 다음의 관계를 이룬다.

$$h = 90 - \theta z \dots \dots \dots (5)$$

여기에서 天頂角은 다음 식으로 주어진다.

$$\theta z = \cos^{-1} (\cos \delta \cos \phi \cos \nu + \sin \delta \sin \phi) \dots \dots \dots (6)$$

太陽 方位角 (α; solar azimuth angle)은 眞南 方向과 직달일사를 수평면에 투영시킨 투영선과 이루는 角을 뜻하며 다음 식으로 표시된다.

$$\alpha = \sin^{-1} \left(\frac{\cos \delta \sin \nu}{\cos h} \right) \dots \dots \dots (7)$$

2-2 大氣 透過率과 直達 日射量

일사량을 분석하는 데 있어서 대기권 밖의 일사량과 지표면의 全日射量으로 나누어 생각할 수 있다. 대기권 밖에서의 單位 面積當 日射量의 強度를 나타내는 것이 太陽 常數이며 태양 상수 G_{sc}는 大氣권 밖에서의 태양의 年中 平均 日射量으로서 그 값은 1,353 W/m²이다.

이때 任意의 날 대기권 밖의 평균 일사량

G_{on}은 다음 식에 의해 산출할 수 있다.

$$G_{on} = G_{sc} (1 + 0.033 \cos 360 n/365) \dots (8)$$

n : 年中通算日數

태양광은 대기를 투과하는 가운데 水蒸氣 또는 炭酸 가스에 의해서 吸收되나, 平행 광선의 상태를 유지하며 직접 지표면에 도달한 부분을 직달일사량이라 부른다. 이때 지표면에 도달한 法線 方向의 직달일사량 (G_n; direct normal radiation)은 다음 식으로 구한다.

$$G_n = G_{on} \cdot P^{\csc h} \dots \dots \dots (9)$$

P : 대기 투과율

h : 태양 고도 (solar altitude angle)

대기 투과율 (atmospheric transmissivity) P는 태양이 天頂에 있을 때 대기권 일사량에 대한 지표면 일사량의 比로서, 대기의 透明度를 나타내는 기준이 된다. 대기 투과율은 지역, 계절 및 시각 등에 따라 변하나, 清明日의 경우 0.7-0.8의 값을 갖는다. 식 (9)에서 cosec h는 태양이 天頂에 있을 때 광학거리 (optical thickness)에 대한 직달일사가 투과한 대기의 광학 거리의 比로서, 大氣 質量 (air mass)으로 불리운다.

한편, 수평면 직달일사량 (G_h)을 구하는 식은 다음과 같다.

$$G_h = G_n \cdot \sin h \dots \dots \dots (10)$$

2-3 하우스 内部의 散亂日射量

산란일사량 (diffuse radiation)은 직달일사를 차단하는 shadow ring 또는 shadow band에 수평면일사계를 부착하여 측정한다. 그런데, 태양 위치의 軌跡은 시간의 흐름에 따라 변화하기 때문에, shadow band의 위치도 태양 위치의 軌跡 변화에 따라 수정해 주어야

한다. Robinson 과 Stoch(1964), Horowitz (1969)는 산란일사량을 측정할 수 있는 shadow band 를 제작하여 실험하였다.

한편, shadow band에 의해서 天空 부분이 가리워져 산란 일사량이 감소되기 때문에 shadow band 에 의해서 차단된 天空 부분을 보정해 주어야 한다. Robinson 과 Stoch(1964), Drummond(1964) 및 Lebaron 등(1980)은 shadow ring이나 shadow band에 의해서 차단된 天空 복사의 보정을 위한 數式을 제시하였으며, Coulson(1975)은 Fig. 3 과 같이 月別에 따른 補正 因子 (correction factor) 의 관계를 도표로 제시하였다. 보통 보정 인자는 1.05 - 1.2의 값을 갖는 것으로 알려져 있다.

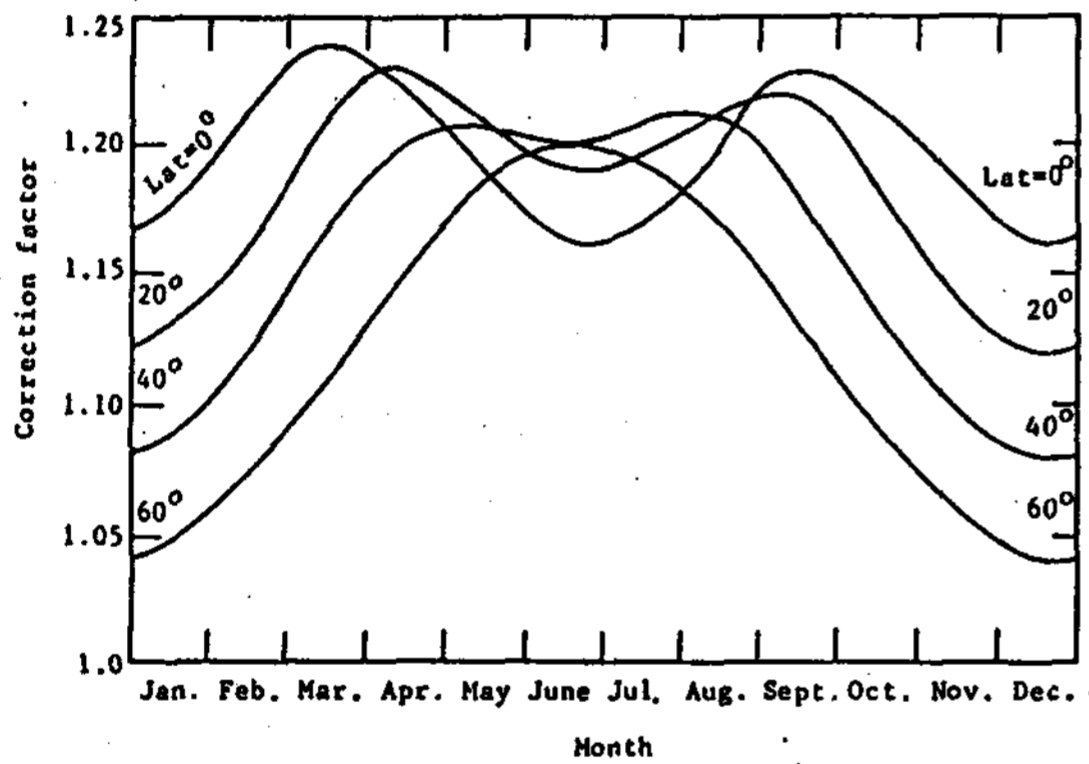


Fig. 3 Typical shade ring correction factors to account for shading of the detector from diffuse radiation. Adapted from Coulson, Solar and Terrestrial Radiation Academic Press, New York (1975)

Ⅲ. 實驗 裝置 및 方法

3-1 實驗用 하우스

본 실험을 위해 설치된 單棟 플라스틱 하우스의 諸元이 Table 1에 실려 있다. 하우스의 棟方向 길이는 18 m, 床面積은 108 m²이고 方位角은 -109.5° E 이다. 하우스의 被覆材로는 polyethylene film 에 비해서 응축 현상이 비

Table 1. Description of the plastic greenhouse

Orientation	- 109.5° E
Number of span	1
Length of the house	18 m
Floor area	108 m ²
Surface area	172 m ²
Cover material	"Jangsoo" film (0.05 mm thick)
Thermal curtain material	Clear polyethylene film (0.05 mm thick)
Site	37°16' N, 126°59' E (Suweon)

교적 적은 "Jangsoo" film (0.05 mm thick) 을 사용하였고, 1重 保溫 커튼材로는 polyethylene film (0.05 mm thick) 을 사용하였다.

3-2 實驗 裝置 및 方法

"Jangsoo" film 을 피복재로한 플라스틱 하우스의 외부 및 내부 일사량을 직달 성분 및 산란 일사 성분으로 나누어서 측정하였다. 측정 기간은 1987. 12.10 - 1988. 1.25. 까지였다. 하우스 내부에서는 수평면일사계 (Pyranometer ; MS-33)와 shadow band 에 부착된 수평면일사계 (Pyranometer ; CM 11)로서, 全日射量 및 散亂日射量을 측정하는 동시에, 直達日射量을 산출하였다. 하우스 외부의 全日射量은 본 실험 지점에 인접한 水原 測候所에서 측정한 값으로 대신하였으며, 式 (10)에서 구한 직달일사량을 이용하여 산란일사량을 산출하였다. 하우스 내부의 산란일사량은 하우스 중앙 지점의 60 cm 높이에서 10분 간격으로 측정하였다.

릴레이 구동 IC (ULN 2003 A)에 의해서 작동되는 리드릴레이 (reed relay ; LA2)는 일사계에서 발생한 直流電壓信號를 선택하여 증

幅過程을 거치게 한다. 이 경우 ULN 2003A 는 AB 81-04 (PC-8001 MK II 用의 96 channel parallel I/O board)에 搭載되어 있는 8255에 연결되어 있다. 센서로부터 출력된 微少電壓은 AD521로 구성된 증폭회로를 거친 후 AB 81-05 (NEC PC8001 MK II 用 12 bit 8 channel)를 통하여 마이크로컴퓨터에 연결하였다.

IV. 實驗 結果 및 考察

4-1 全日射의 透過率

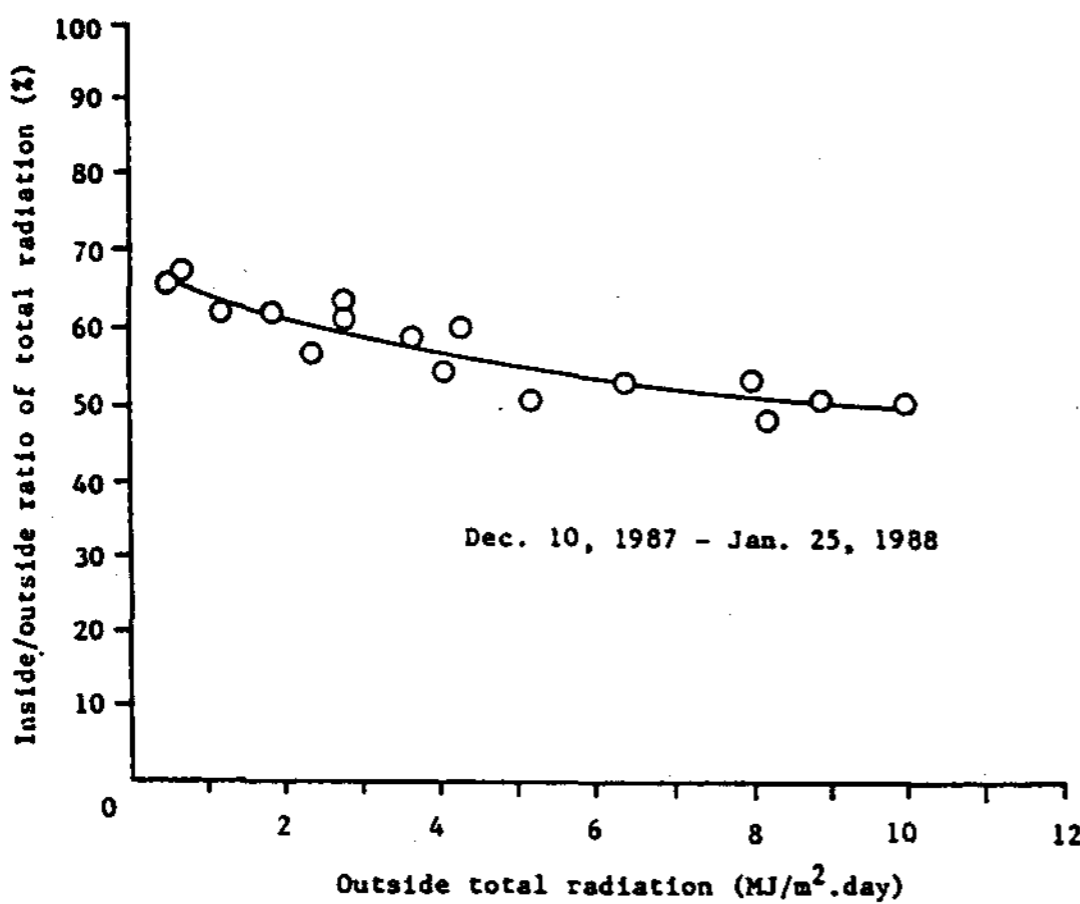


Fig. 4 Relationship between outside total radiation and inside/outside ratio of total radiation in the plastic greenhouse

직달일사가 하우스 내부로 투과되는 比率은 하우스의 棟方位, 時刻 및 季節에 따라 變하나, 산란일사가 투과되는 비율은 거의 일정한 것으로 생각된다. 따라서 하우스 외부 全日射 (직달 및 산란 일사)의 투과율은 하우스 棟方位가 동일할지라도, 시각, 계절 및 기후 조건에 따라 그 값이 變化한다.

실험기간 중의 1日 수평면 상에서 全日射의 투과율과 하우스 외부 全日射量의 관계가 Fig. 4에 실려있다. Fig. 4에서 볼 수 있는 바와

같이 흐린 날의 경우 약 65%, 맑은 날의 경우 50% 정도로서 기후 조건에 따라 투과율의 차이가 나타남을 알 수 있다. 맑은 날의 투과율은 계절에 따라 變化할 것으로 여겨지나 흐린 날의 투과율은 하우스 고유의 값으로서 하우스 외부 산란일사의 투과율을 나타내는 것으로 간주할 수 있다.

4-2 直達 및 散亂日射

透明 被覆材를 사용한 경우, 하우스 외부 직달 및 산란 일사는 거의 비슷한 比率로 투과되는 것으로 지금까지 생각되어 왔으나, 실제 측정 결과 하우스 내부의 산란일사량이 하우스 외부의 산란일사량보다 큰 것으로 나타났다. 이것은, 하우스 외부 직달일사가 피복재를 투과하는 가운데 擴散 및 内部 反射에 의한 확산 성분이 하우스 외부 산란일사의 투과 성분에 영향을 주어 결과적으로 하우스 외부 산란일사량보다 크게 나타나는 이유를 설명해주는 것이다. 따라서, 하우스 내부 산란일사는 하우스 외부 산란일사의 투과 성분과 하우스 외부 직달일사의 확산성분의 합으로 표시되어야 한다.

$$\begin{aligned} \tau (Q + q) &= (\tau_Q + \tau'_Q) Q + \tau_q q \\ &= \tau_Q Q + \tau'_Q Q + \tau_q q \end{aligned} \quad (11)$$

τ : 全日射의 투과율

τ_Q : 직달일사의 투과율

τ'_Q : 직달일사의 有效 擴散率

τ_q : 산란일사의 투과율

$(Q + q)$: 하우스 외부 全日射量

$\tau (Q + q)$: 하우스 내부 全日射量

$\tau_Q Q$: 하우스 내부 직달일사량

$\tau'_Q Q + \tau_q q$: 하우스 내부 산란일사량

실험 기간 동안 측정된 맑은 날의 자료로부터 各 要素에 대한 1日 平均值 구한 결과가

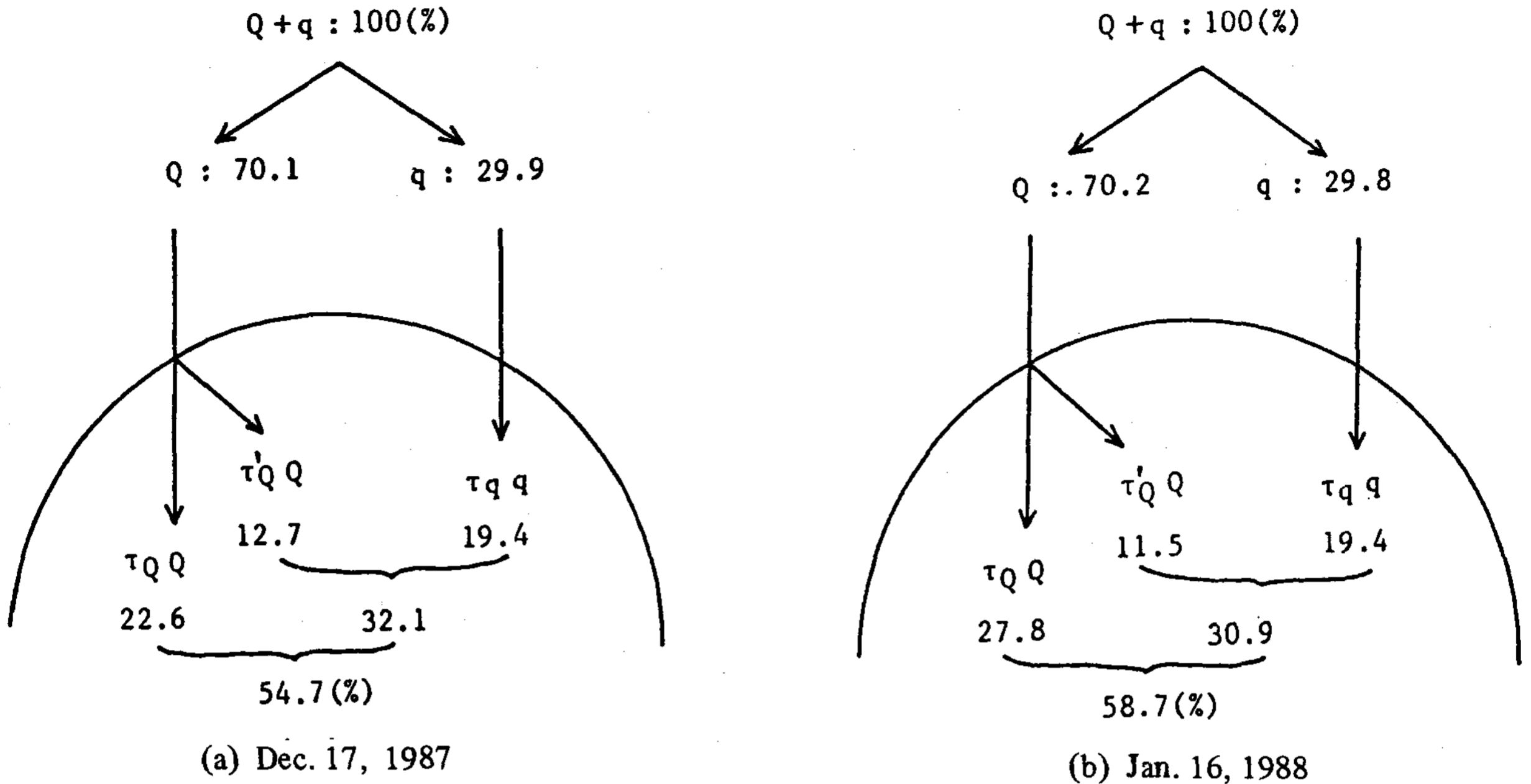


Fig. 5 Schematic representation of direct and diffuse components of daily solar radiation inside and outside the plastic greenhouse

Fig. 5에 실려 있다. 이 경우 산란일사의 투과율 τ_q 는 Fig. 4에서 얻은 65%의 값을 이용하였다. Fig. 5를 살펴볼 때, 하우스 내부 직달일사가 외부 직달일사와 비교해서 현저하게 감소하였으나, 내부 산란일사는 다소 증가하였다. 직달일사가 피복재를 투과하는 가운데 派生된 有效 擴散 成分은 내부 산란일사량의 60-65%를 차지하였는데, 이것은 피복재 내側に 형성된 凝縮 現象과 관련이 있을 것으로 판단된다.

1987年 12月 17日에서 1988年 1月 16日 사이 太陽 赤緯가 변화하는 1個月 동안에, 全日 射의 투과율 τ 는 54.7%에서 58.7%로 증가하였다. 이것은 직달일사의 有效 擴散 率이 18.1%에서 16.4%로 다소 감소하였으나, 직달일사의 투과율 τ_Q 가 32.2%에서 39.6%로 크게 증가했기 때문이다. 즉, 직달일사의 투과율과 有效 擴散 率이 全日 射 투과율의 시기변화에 相互 反對의 영향을 미치나 前者의 영향

이 더욱 큼을 알 수 있다.

4-3 하우스 内部 直達日射의 近似 解析

아치형 플라스틱 하우스를 圓筒 模型으로 가정하여 하우스 중앙에 도달한 직달 일사의 하우스 표면에서의 入射角 I 가 附錄에서 다음과 같이 유도되었다.

$$I = \cos^{-1} | \sinh \cdot \operatorname{cosec} \omega \cdot \sin \rho | \dots\dots\dots (12)$$

$$\rho = \tan^{-1} \{ \sqrt{\sec^2 \omega - K^2} / K \} \dots\dots\dots (13)$$

$$\omega = \tan^{-1} (\operatorname{cosec} \theta \cdot \tanh) \dots\dots\dots (14)$$

h : 태양 고도

θ : $\alpha - \alpha'$

K : l / r

여기에서 θ 는 태양 方位角 α 와 하우스 棟 方位 α' 의 사이角을 의미하며, k 값은 圓으로 가정한 하우스 斷面의 半徑 r 과 중심으로부터 측정 지점까지의 높이 l 과의 比率을 의

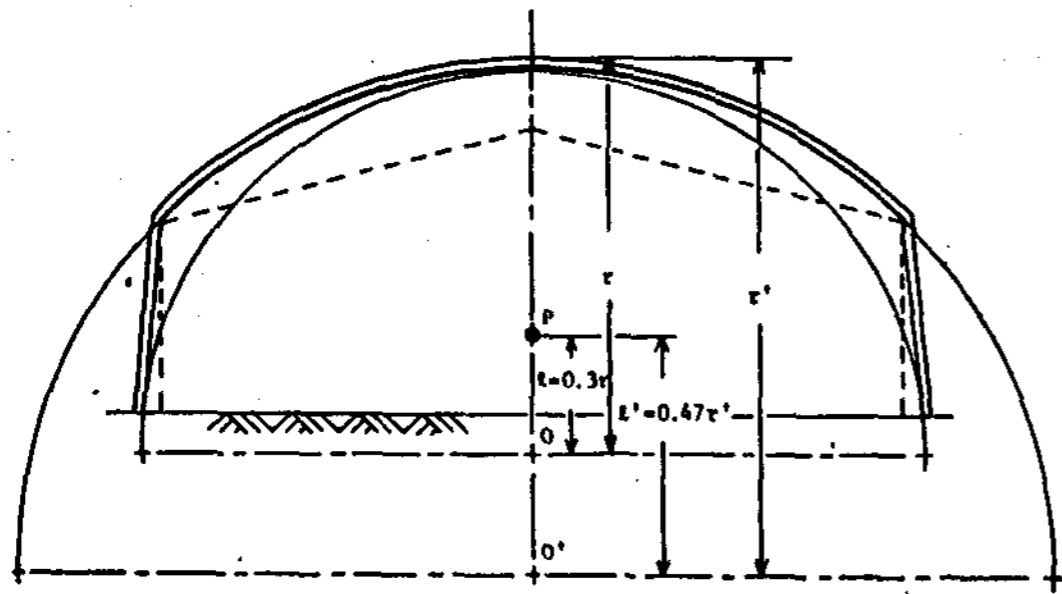


Fig. 6 The cross-section of the greenhouse and the cylindrical models.
 P: experimental point, O: center of cylinder (radius r) O': center of cylinder (radius r')
 Shadow band stand and pyromometer are installed at point P

미한다. 실제로 하우스 단면을 원으로 가정할 때 여러가지 r 과 l 값이 고려되어야 하나, 위의 계산에 의하면 단지 1개의 因子 k 값에 따라 入射角을 평가할 수 있다.

Fig. 6는 실험용 하우스 단면과 원에 의한 近似例를 나타낸다. 본 연구에서는 近似圓을 2個로 가정하여, $k = 0.3$ 및 0.47 의 경우에 대해서 분석하였다.

하우스 외부의 法線 方向 및 수평면 직달일사량은 式 (9)과 式 (10)을 이용해서 구한다. 이 경우 대기 투과율은 $P = 0.71$ 로 하였다. 직달일사의 하우스 표면에서의 入射角 I 를 구하기 위하여 $k = 0.3$ 및 $k = 0.47$, $\alpha' = -109.5^\circ E$ 를 사용하였다. 岸田과 園山(1977)은 polyvinyl chloride film (0.1 mm thick)의 3종류 (NEW, DIRTY, DEWY)를 직달일사계 (Pyrheliometer)의 一端에 부착하여 여러 각도에서 얻은 入射角과 투과율의 관계를 얻었다. 이 관계가 Fig. 7에 실려 있다. 入射角이 零인 경우 투과율은 미사용품인 "NEW"에서 87.5%, 먼지 등으로 汚染된 "DIRTY"에서는 48.0%, 凝縮現象이 나타난 실제 하우스의 피복재인 "DEWY"에서는 60.0% 정도로 나타났으며, 入射角이 60° 일 때 투과율은 각각 72.5%,

28.5%, 20.0%로 나타났다. 入射角이 증가할 때 투과율의 저하는 "NEW"보다 "DIRTY"

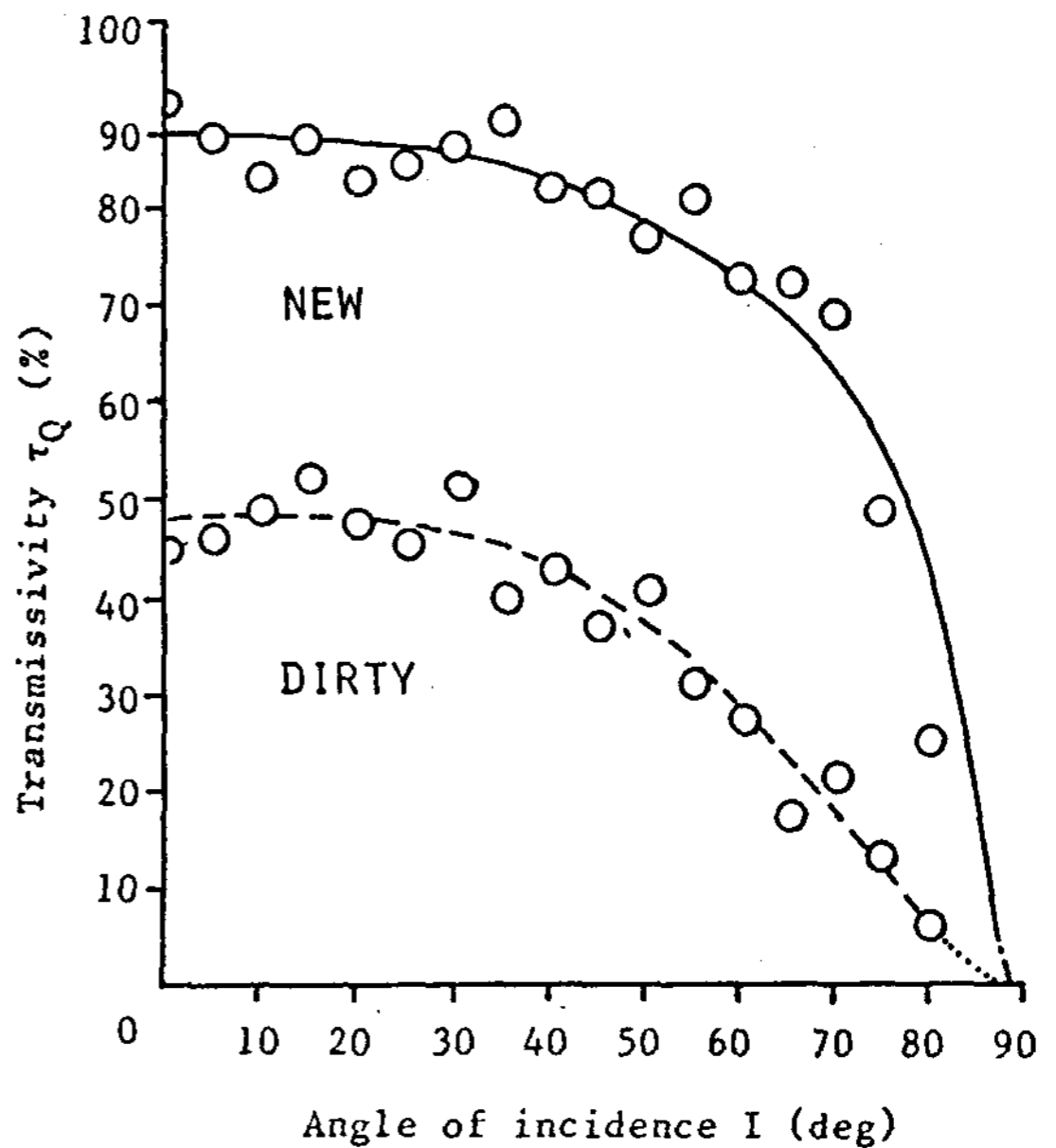
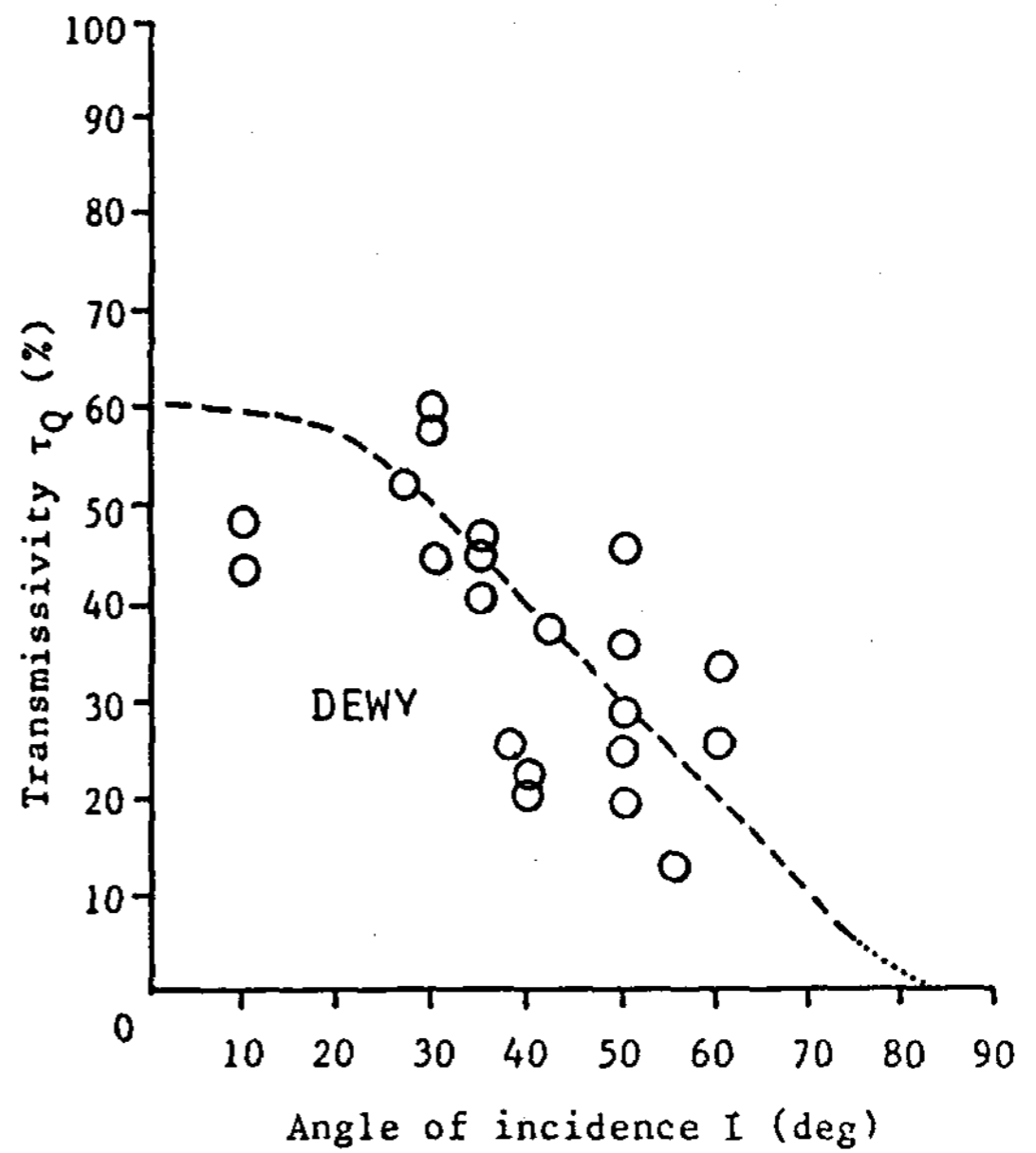


Fig. 7 Dependence of transmissivities of the transparent polyvinyl chloride films (0.1 mm thick) on the angle of incidence. NEW: dry new film, DIRTY: dry film which was used for a year in the city, DEWY: dewy film which has been in use since three months ago in the country

에서 현저하게 나타났으며, 특히 “DEWY” 는 汚染정도가 심하지 않음에도 불구하고 투과율의 저하 현상이 두드러지게 나타났다.

본 연구의 실험용 플라스틱 하우스의 피복재로 사용한 “Jangsoo” film (0.05 mm thick) 과 岸田과 園山(1977) 이 측정된 polyvinyl chloride film (0.1 mm thick) 의 입사각과 투과율의 관계는 다소 차이가 있을 것으로 생각되며, 실제로 이 차이는 하우스 내부 직달일사량의 測定値와 豫測値가 서로 일치하지 않는 이유중의 하나로 나타났다.

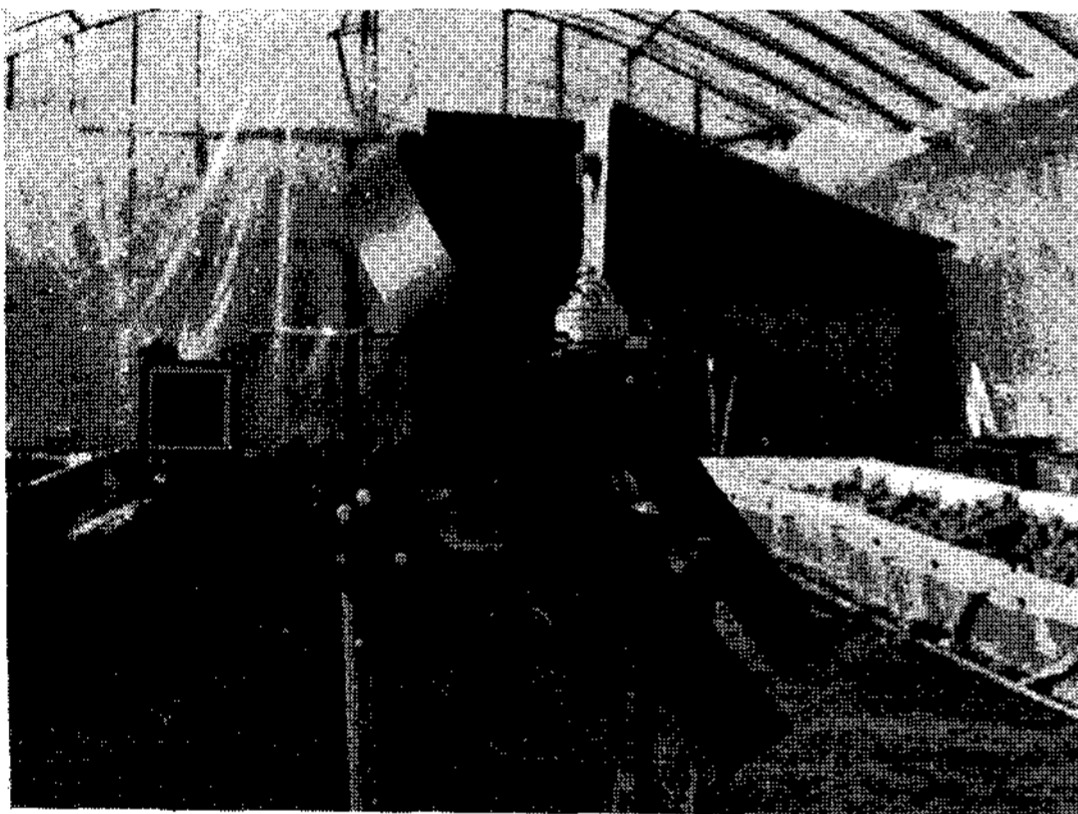
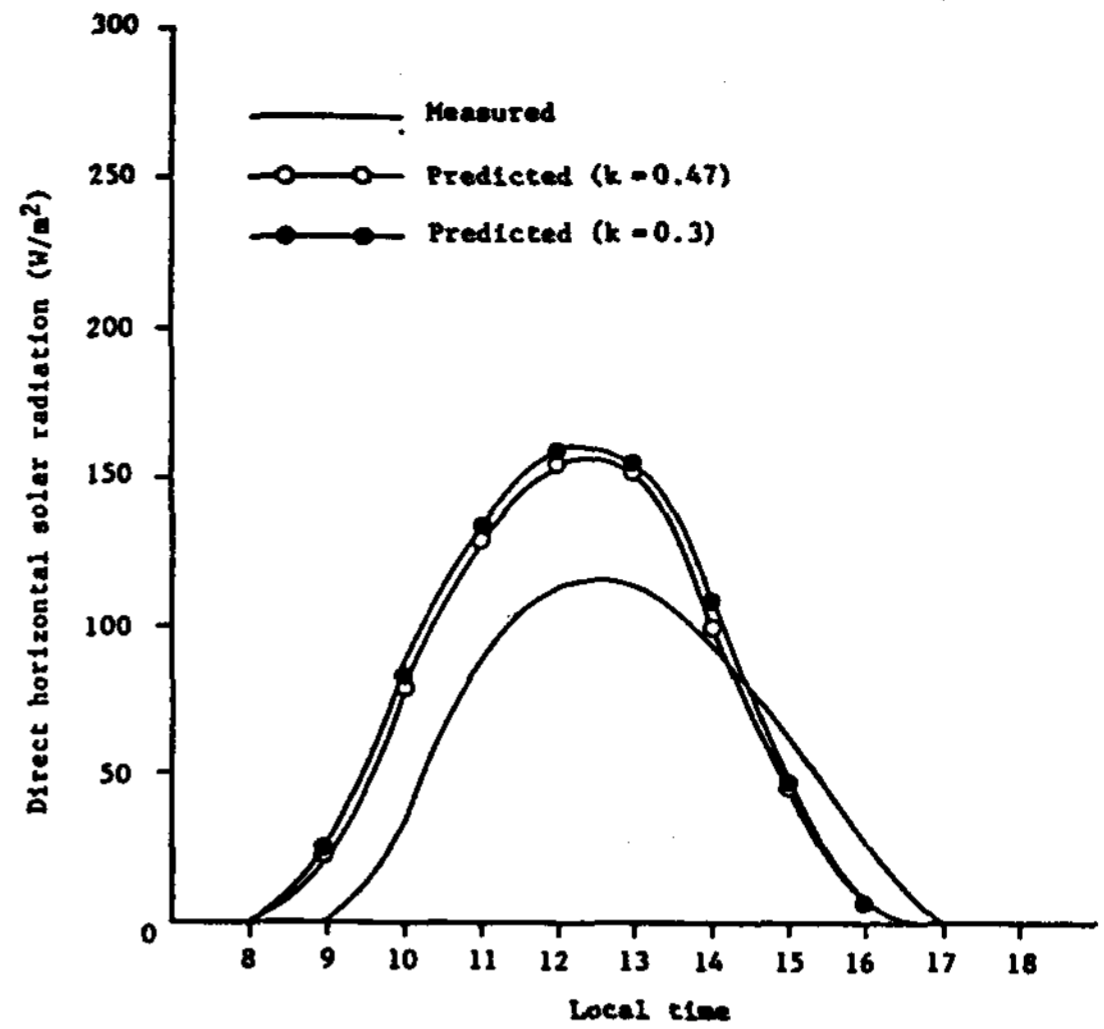


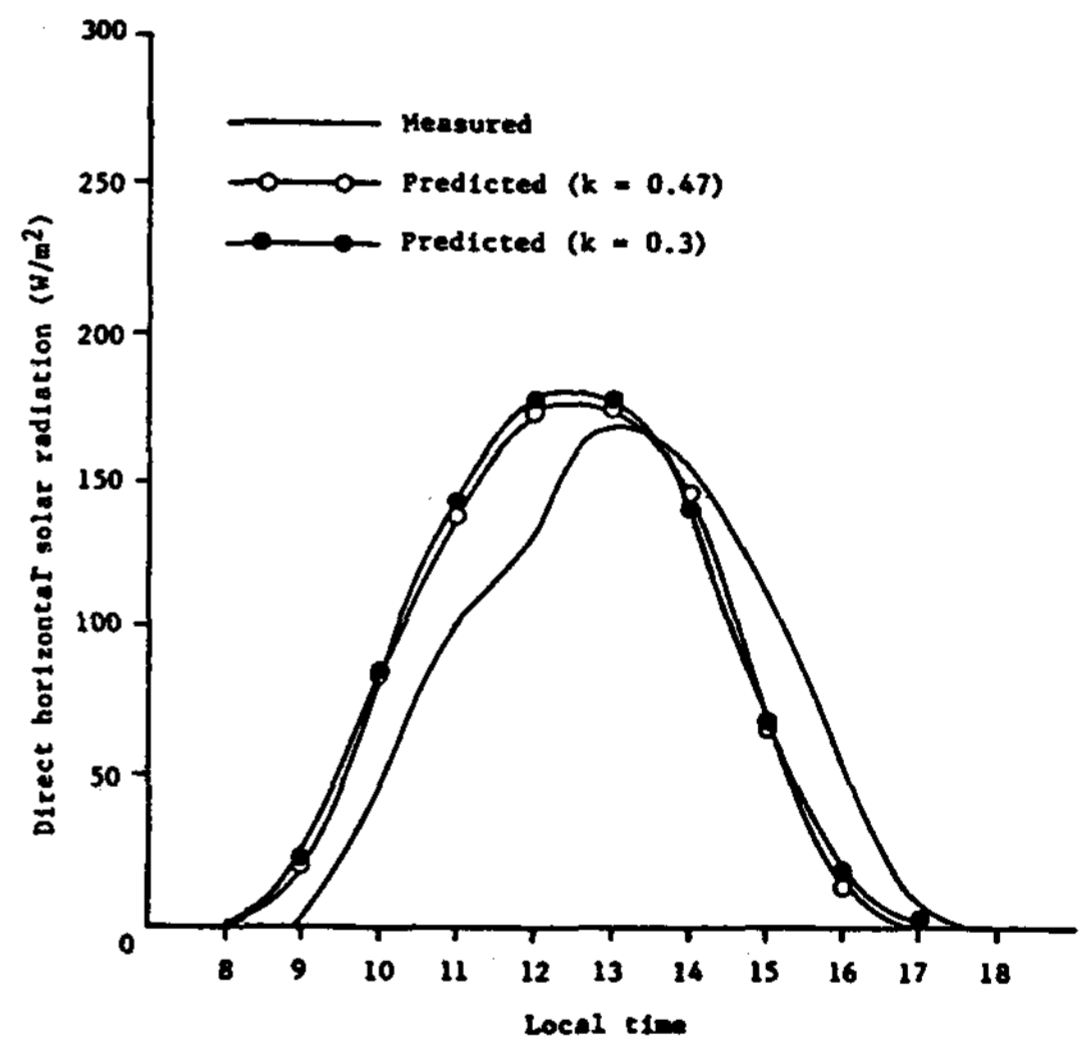
Fig. 8 General view of pyranometer with shadow band

한편, 하우스 내부 산란일사량은 shadow band 에 수평면일사계를 부착하여 측정하였다. 본 실험의 산란일사 측정용으로 사용된 shadow band 는 氣象研究所에서 제작한 것으로 shadow band 의 幅과 直徑은 각각 7.8 cm, 64 cm 이다. Fig. 8 은 산란일사 측정에 사용된 shadow band 와 全日射計를 나타낸 것이다. 측정된 산란일사량은 Coulson(1975)이 제시한 Fig. 3에서 보정 인자를 구한 후 산란일사량의 측정치에 곱하여 얻은 값으로 보정하였다.

Fig.9는 플라스틱 하우스 내부 직달일사량의 실측치와 예측치의 관계를 나타낸 것이다.



(a) Dec. 17, 1987



(b) Jan. 16, 1988

Fig. 9 Diurnal variations of direct solar radiation inside the plastic greenhouse

직달 일사 예측치를 살펴보면 $k = 0.47$ 일 경우가 $k = 0.3$ 에 비해서 4.2 - 6.5 % 정도 작게 나타났다. 이것은 원통형 플라스틱 하우스에서 직달일사 투과율의 垂直 分布 方向으로의 차이를 나타내는 것으로서 任意의 棟方位에 대해서 원통 중심으로부터 멀어질수록, 즉, 床面이 높아질수록 직달일사량이 상대적으로 작

아짐을 의미한다. 이러한 결과는 岸田과 園山 (1977)의 실험 결과와도 일치한 것이다. 전체적으로, $k = 0.3$ 에 비해서 $k = 0.47$ 을 기준으로 할 때 1987年 12月 17日의 경우 예측치가 측정치보다 29.0%, 1988年 1月 16日의 경우 3.3% 정도 높게 나타났다.

V. 結 論

현재 施設園藝 재배 농가에서 많이 사용되고 있는 플라스틱 하우스는 冬季의 夜間 또는 惡天日에 안개가 형성되고, 맑은 날의 경우에도 被覆材 内面에는 사용 기간이 길수록 먼지의 부착으로 인한 汚染 現象이 두드러지게 나타난다. 이러한 凝縮과 汚染 現象은 하우스 내부로 투과되는 직달 및 산란일사 성분의 투과율을 감소를 초래한다. 본 연구에서는 위와 같은 현상이 나타나는 실제의 單棟 플라스틱 하우스 내부 및 외부에서 직달과 산란일사량을 측정 및 예측하여 직달 및 산란일사의 투과율, 직달일사의 有效 擴散率을 분석하였다.

또한, 실험용 플라스틱 하우스를 圓筒 模型으로 가정하여 직달 일사의 하우스 표면에서의 入射角을 이론적으로 분석함과 아울러 하우스 내부 직달일사량을 推定하기 위한 模擬 實驗을 실시하였다. 이에 따른 실험 결과를 要約하면 다음과 같다.

(1) 실험 기간 동안 全日射의 투과율은 흐린 날의 경우 약 65% 맑은 날의 경우 약 50%로 나타났다. 특히, 흐린 날의 全日射 투과율은 하우스 고유의 값으로서, 산란일사의 투과율을 나타내는 것이다.

(2) 직달일사가 被覆材를 투과하는 가운데 派生된 직달일사의 有效 擴散 成分은 하우스 내부 산란일사량의 60-65%를 차지하였다.

(3) 직달일사의 투과율과 직달일사의 有效 擴散率이 全日射 투과율의 시기 변화에 相互 反

對의 영향을 미치나 前者의 영향이 더욱 크게 나타났다.

(4) 실험용 플라스틱 하우스를 圓筒 模型으로 가정하여 模擬 實驗을 실시한 결과, 하우스 내부 직달일사량은 床面이 높아질수록 감소하였다.

(5) 模擬 實驗 結果, 하우스 내부 직달일사량의 예측치는 측정치에 비해서 3.3-29.0% 정도 높게 나타났다.

REFERENCES

1. Coulson, K.L. 1975. *Solar and terrestrial radiation.* Academic Press. New York
2. Drummond, A.J. 1964. Comments on sky radiation measurement and corrections. *J. Appl. Met.* 3:810-811.
3. Duffie, J.A. and W.A. Beckman. 1980. *Solar engineering of thermal processes.* John Wiley & Sons, New York
4. Horowitz, J.L. 1969. An easily constructed shadow-band for separating direct and diffuse solar radiation. *Solar Energy* 12(4): 543-545.
5. Lebaron, B.A., W.A. Peterson, and I. Dirmhirn. 1980. Corrections for diffuse irradiance measured with shadow bands. *Solar Energy* 25(1): 1-13.
6. Painter, H.E. 1981. The shade ring correction for diffuse irradiance measurements. *Solar Energy* 26(4): 361-363.
7. Robinson, N. and L. Stoch. 1964. Sky radiation measurements and corrections. *J. Appl. Met.* 3: 179-181.
8. Siren, K.E. 1987. The shadow band correction for diffuse irradiation based on a two-component sky radiance model. *Solar*

Energy 39(5): 433-438.

9. Turner, W.D. and A.M. Mujahid. 1983.

Diffuse sky measurements and determination of corrected shadow band multiplication factors. J. Solar Energy Eng. 105(3): 305-310.

10. 朴在福, 高學均, 1986. 플라스틱 溫室의 日射量 分析과 熱的 環境의 시뮬레이션에 關한 研究. 韓國太陽에너지學會誌 6 (2):

22-32.

11. 岸田恭允, 園山康正, 1977, ほろ型 プラス

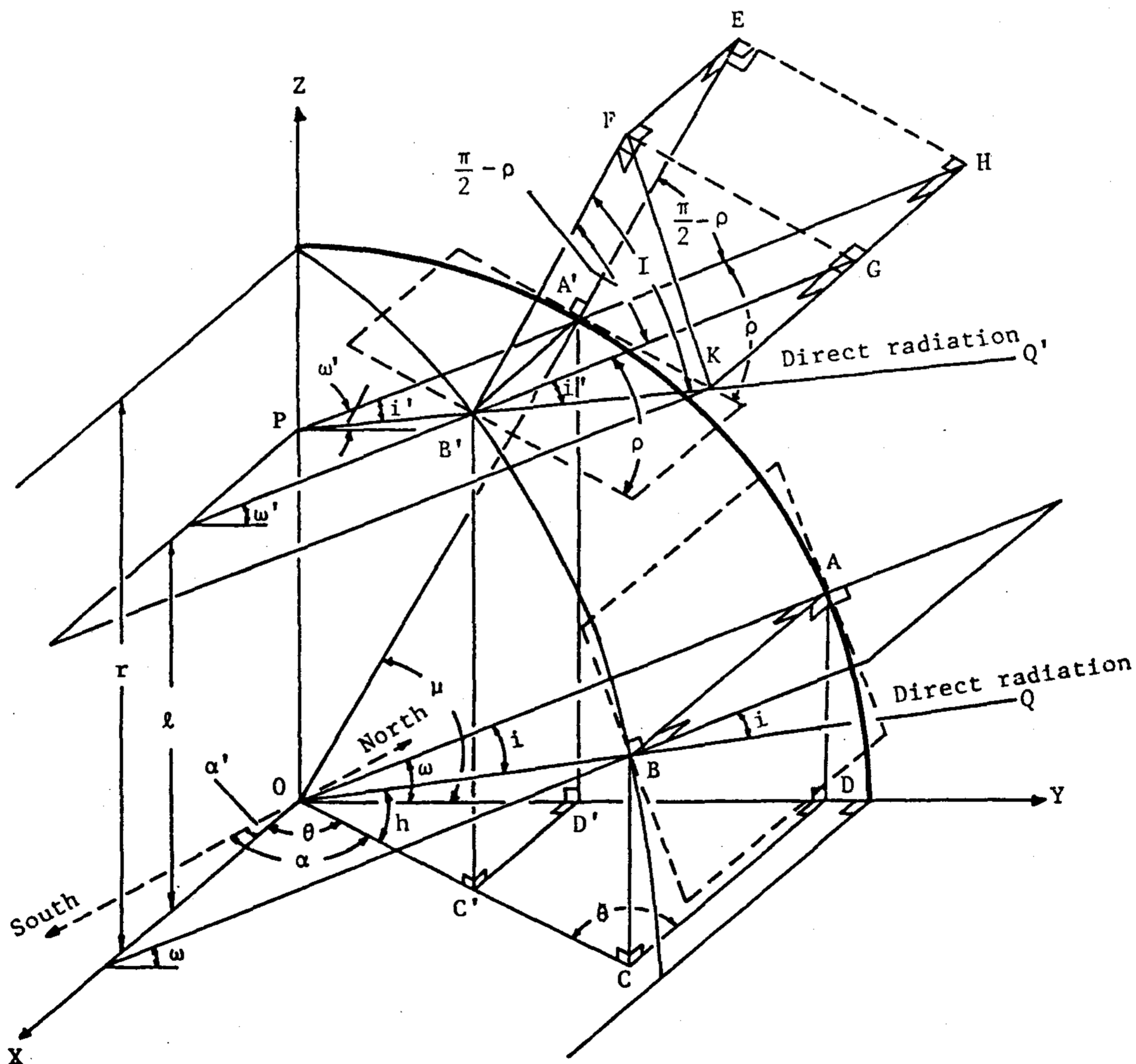
チックハウスにおける 日射量解析. 農業氣象 32(4): 177-184.

12. 田中俊六, 1977. 太陽熱 冷暖房 システム, オーム社.

13. 三原義秋, 1980. 溫室 設計の基礎と實際, 養賢堂.

附 錄

플라스틱 하우스 內로 투과되는 직달일사의 하우스 표면에서의 入射角을 구하는 式을 유도



App. Fig. 1 Angular relationships for the derivation of the equations

하기 위하여 하우스의 길이 方向을 X軸, 幅方向을 Y軸, 天頂을 Z軸으로 설정하였다. 플라스틱 하우스를 圓筒 模型으로 가정하고 직달 일사의 入射角을 표시하는 데 필요한 記號를 다음과 같이 정의하였다.

- r : Y-Z 面에서 圓筒의 半徑
- α' : X軸과 眞南北 方向이 이루는 角(棟方位)
- α : 太陽 方位
- h : 太陽 高度
- i : 원통 중심축상의 점 O를 향한 光線 Q가 표면 B로부터 투과될 때의 入射角
- I : 원통 중심축으로부터 높이 ℓ 만큼 떨어진 지점 P를 향한 光線 Q'가 표면 B'로부터 투과될 때의 入射角

그 밖의 기호는 App. Fig. 1. 에 표시되었다.

1. 點O를 향한 光線의 點B에서의 入射角(i)

Y-Z 面에서 원통 표면의 曲線 軌跡은

$$Y^2 + Z^2 = r^2 \dots\dots\dots (A-1)$$

$\triangle BOC$ 를 Y-Z 面에 투영시킨 $\triangle AOD$ 에서 OA를 통과하는 직선의 기울기를 $\tan \omega$ 라 할 때, 이 직선의 방정식은 다음과 같다.

$$Z = \tan \omega \cdot Y \dots\dots\dots (A-2)$$

式(A-1) 과 式(A-2)로부터 點A의 좌표인 $\overline{OD} = r \cos \omega$, $\overline{AD} = r \sin \omega$ 를 얻게 된다. 또한, $\theta = \alpha - \alpha'$ 로 표시하면, $\triangle COD$ 에서 $\overline{OC} = \overline{OD} / \sin \theta = r \cos \omega / \sin \theta$ 로 된다. $\triangle BOC$ 에서 $\overline{OB} = \overline{OC} / \cos h = \overline{BC} / \sin h$ 이므로 $\overline{BC} = \overline{AD}$ 에 대입하면,

$$\tan \omega = \operatorname{cosec} \theta \cdot \tan h \quad (A-3)$$

다음에, $\triangle AOB$ 에서 $\cos i = \overline{OA} / \overline{OB}$ 이고, $\overline{OA} = r$ 로부터

$$\cos i = \sin h \cdot \operatorname{cosec} \omega \dots\dots\dots (A-4)$$

$$i = \cos^{-1} | \sin h \cdot \operatorname{cosec} \omega | \dots\dots\dots (A-5)$$

2. 點P를 향한 光線의 點B에서의 入射角(I)

四角形 $PB'C'O$ 를 Y-Z 面에 투영시킨 四角形 $PA'D'O$ 에서 PA' 를 통과하는 직선의 기울기를 $\tan \omega'$ 라 할 때, 이 직선의 방정식은 다음과 같다.

$$Z = \tan \omega' \cdot Y + \ell \dots\dots\dots (A-6)$$

式(A-1) 과 式(A-6)에서, 點A의 좌표인 $\overline{OD'} = (-\ell \tan \omega' + \sqrt{r^2 \sec^2 \omega' - \ell^2}) / \sec^2 \omega'$, $\overline{A'D'} = (\ell + \tan \omega' \sqrt{r^2 \sec^2 \omega' - \ell^2}) / \sec^2 \omega'$ 를 얻게 된다. $\overline{OA'}$ 를 통과하는 직선의 기울기는, $\tan \mu = \overline{A'D'} / \overline{OD'}$ 로서, 이것과 直交하는 직선, 즉, 點A'에서 표면에 接하는 직선의 기울기는 $\tan \xi = -1 / \tan \mu = -\overline{OD'} / \overline{A'D'}$ 가 된다. $\overline{DA'}$ 를 통과하는 직선(A-6)과 點A'에서 표면에 接한 직선과의 交叉角 $\rho = \omega' - \xi + \pi$ 로부터,

$$\begin{aligned} \tan \rho &= \tan(\omega' - \xi + \pi) \\ &= (\tan \omega' - \tan \xi) / (1 + \tan \omega' \cdot \tan \xi) \\ &= \sqrt{r^2 \sec^2 \omega' - \ell^2} / \ell \dots\dots\dots (A-7) \end{aligned}$$

여기에서 $\overline{B'F} \perp \overline{FG}$, $\overline{A'E} \perp \overline{EH}$ 가 성립하는 直四角形 EFGH 를 만들고, \overline{HG} 를 연장하여 $\overline{B'Q'}$ 상의 點K를 정하면, $\overline{B'F} \perp \overline{FK}$ 가 성립된다. $\triangle FB'K$ 에서 $\cos I = \overline{B'F} / \overline{B'K}$, $\triangle GB'K$ 에서 $\cos i' = \overline{B'G} / \overline{B'K}$, $\triangle FB'G$ 에서 $\cos \{ (\pi/2) - \rho \} = \sin \rho = \overline{B'F} / \overline{B'G}$ 로부터

$$\cos I = \cos i' \cdot \sin \rho \dots\dots\dots (A-8)$$

그런데, i' 와 ω' 는 以前에 언급한 i 및 ω 와 동일하기 때문에, 式(A-4)를 式(A-

8) 에 대입하면,

$$\cos I = \sin h \cdot \operatorname{cosec} \omega \cdot \sin \rho \quad \dots\dots (A-9)$$

$$\therefore I = \cos^{-1} | \sin h \cdot \operatorname{cosec} \omega \cdot \sin \rho | \quad \dots\dots (A-10)$$

$$\text{但, } \omega = \tan^{-1} (\operatorname{cosec} \theta \cdot \tan h)$$

$$\rho = \tan^{-1} (\sqrt{r^2 \sec^2 \omega - \ell^2} / \ell)$$

여기에서, $k = \ell/r$ 을 도입하면, $\rho = \tan^{-1} (\sqrt{\sec^2 \omega - k^2} / k)$ 로 표시된다.