

# 유리온실내의 직달일사 및 산란일사 해석을 위한 시뮬레이션 모형 개발

- 동방위가 온실내의 직달일사 투과도에 미치는 영향 -

## A simulation model for the analysis of direct and diffuse solar radiation in glasshouse

- Effect of orientation on the transmissivity of direct solar  
radiation in glasshouse -

김용현 · 이석건\*

전북대학교 농과대학 농업기계공학과

\* 경북대학교 농과대학 농공학과

Y.H. Kim · S.G. Lee\*

Dept. of Agricultural Machinery Engineering, College of Agriculture,  
Chonbuk National University, Chonju, 561-756, Korea

\*Dept. of Agricultural Engineering, College of Agriculture,  
Kyungpook National University, Taegu, 702-701, Korea

### 1. 서론

온실이란 식물 생육에 요구되는 태양광을 유용하게 활용하기 위하여 투명한 피복재가 사용된 구조물을 일컫는다. 온실내로 투과되는 일사량은 온실이 설치된 지역의 위도, 온실의 동방위 및 형상, 구조물의 재원, 피복재의 광학적 특성, 년중일수, 기상 조건, 지붕면의 경사각 등에 따라 변화된다. 일반적으로 겨울철에 온실내의 일사량은 식물의 정상적인 생육에 제약이 되는 요소로 작용한다. 그러므로 온실내의 광환경을 개선하기 위한 노력은 온실 설계의 핵심 부분에 해당된다.

이제까지 온실내로 투과되는 일사량에 대한 여러가지 연구 결과<sup>(1)~(4),(6),(8)~(10)</sup>가 제시되어 왔다. 그러나 국내에서는 온실의 동방위 및 지붕경사각, 동고 및 측고, 구조물의 재원, 설치 지역의 위도 등이 유리 온실내의 직달 및 산란일사 투과에 미치는 효과가 체계적으로 분석된 바가 없으므로, 온실내의 광환경에 대한 설계 기준조차 정립되어 있지 않다. 본 연구의 기본적인 목적은 유리 온실내로 투과된 직달 및 산란일사의 해석을 위한 컴퓨터 시뮬레이션 모형을 개발하는 데 있으며, 본고에서는 온실의 동방위가 온실내의 직달일사 투과도에 미치는 영향에 대해서 보고하고자 한다.

## 2. 실험재료 및 방법

가. 온실내의 직달 및 산란일사 투과도

지표면에 도달되는 태양광은 직달일사와 산란일사로 구분된다. 온실내로 투과된 직달일사와 산란일사는 모두 온실의 형상과 구조물의 영향을 받게 되나, 이 가운데 직달일사는 온실의 동방위와 천공에서 태양의 위치에 따른 영향도 받게 된다. 한편, 산란일사의 투과도는 온실의 형태가 결정되면 거의 일정한 값을 갖는다. 온실내에서 직달일사 및 산란일사를 포함한 전체일사의 투과도(TT)는 다음 식에 의해서 계산된다.

$$TT = FRDIF \times TRDIF + (1-FRDIF) \times T \quad (1)$$

식(1)에서 FRDIF : 실외 전체일사에 대한 산란일사의 비율, TRDIF : 산란일사의 투과도, T : 직달일사 투과도이다.

반구의 형태로 이루어진 천공이  $m \times n$ 의 요소로 구분된다고 가정할 때, (I,J)번째 요소의 중심으로부터의 발산된 평행광의 온실 투과도  $T(I,J)$ 는 태양고도와 태양방위각의 영향을 받게 된다. 이 경우 직달일사의 일평균 투과도(AD)는 다음과 같이 정의된다.

$$AD = \frac{\sum_{t=\text{sunrise}}^{\text{sunset}} DRP(t) \cdot T(I_t, J_t) \cdot \Delta t}{\sum_{t=\text{sunrise}}^{\text{sunset}} DRP(t) \cdot \Delta t} \quad (2)$$

식(2)에서  $I_t = (n \cdot H_t + 90)/90$ ,  $J_t = (m \cdot A_t + 180)/180$ 이다. 이밖에  $H_t$  : 태양고도,  $A_t$  : 태양방위각, DRP(t) : 임의의 시각 t에서 옥외 직달일사, m, n : 상수,  $\Delta t$  : 시간증분이다. 온실이 단면과 종면에 대해서 대칭을 이룰 때 임의의 태양고도에서 태양방위각  $A_t$  ( $0^\circ \leq A_t \leq 90^\circ$ )에 대한 온실 투과도는  $-A_t$ 에서의 투과도와 동일하다. 등방성으로 가정된 천공에서 임의의 태양고도와 태양방위각에 따른 산란일사의 투과도는 다음 식으로 표시된다. 식(3)에서 대괄호안의 수식은 태양고도의 함수로 표시되는 산란일사 투과도의 보정계수에 해당된다<sup>(7)</sup>.

$$TRDIF = \sum_{J=1}^m \sum_{I=1}^n T(I, J) [\sin^2(90/I/n) - \sin^2\{90(I-1)/n\}]/m \quad (3)$$

나. 직달 및 산란일사 투과도 해석을 위한 컴퓨터 시뮬레이션 모형

유한한 길이의 고체 구조물로 구성된 온실내의 상면 또는 식물체에 태양광이 도달하기 전에 직달광은 최소한 1회 이상 온실의 지붕면을 통과하며, 통과된 광

은 구조재에 의해서 광투과가 차단되기도 한다. 지붕면을 통과할 때마다 유리에 의해서 반사 또는 흡수되는 태양광의 강도는 프레스넬식<sup>(5)</sup>에 의해서 계산된다.

규칙적으로 배열되어 있는 온실의 구조물로 인한 투과도의 편향을 배제하려면 특정한 방향으로 입사되는 개개의 직달광이 상면에 임의로 도달하여야 한다. 단동 및 연동 온실에서 직달광에 대한 평균 투과도의 예측에 사용된 시뮬레이션 모형의 순서도가 그림 1에 실려 있다.

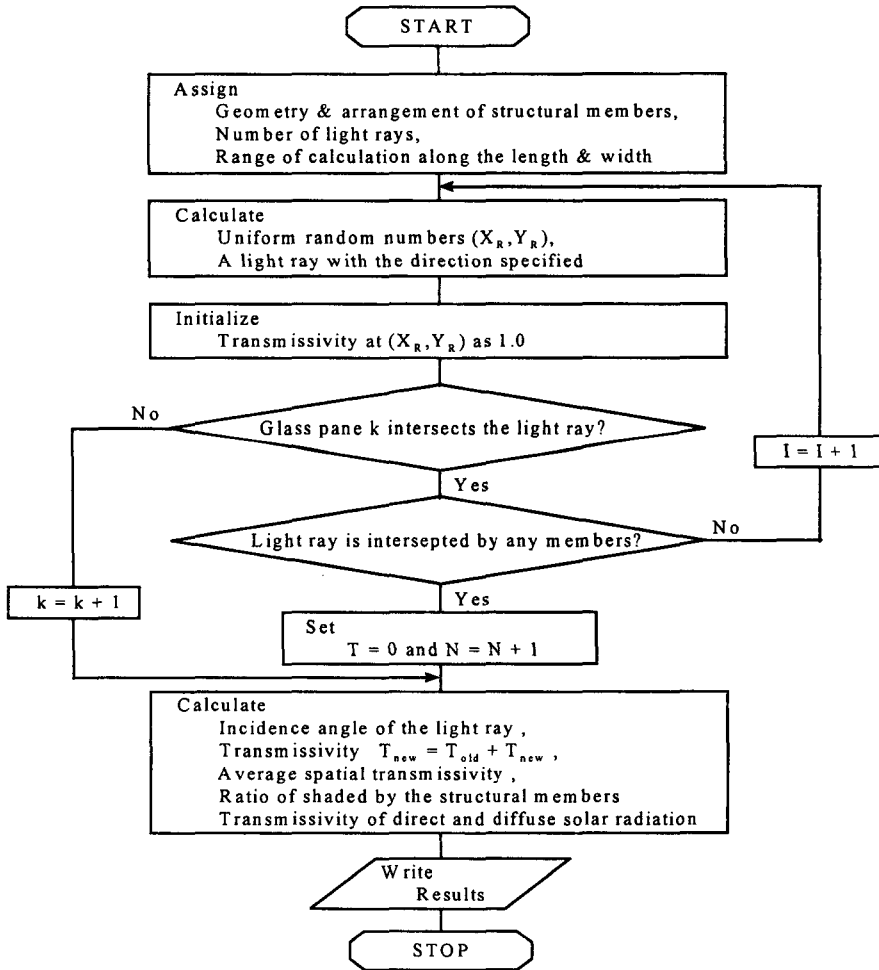


Fig. 1. Flow chart for the calculation of transmissivity of direct and diffuse solar radiation in glasshouse.

그림 2는 본 연구의 시뮬레이션 모형에 사용된 유리온실의 정면도와 측면도를 나타낸 것이다. 온실의 크기와 구조물로 사용된 부재의 주요 치수는 표 1과 같다. 시뮬레이션모형에 사용된 온실의 프레임율, 즉 온실의 전체 표면에 대해

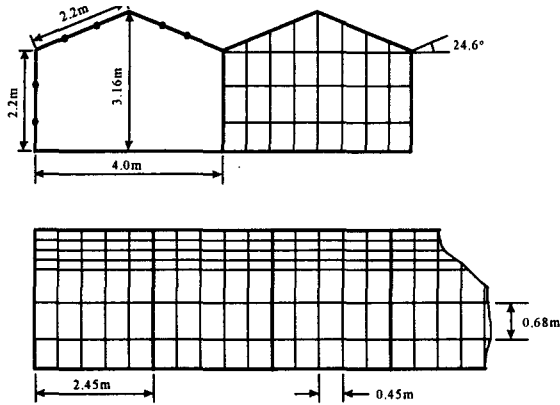


Fig. 2. Front and side views of the multispan glasshouse analyzed in this simulation.

여 구조물이 차지하는 면적의 비율은 약 16% 정도로서, 이와 같은 비율은 보통 온실의 프레임에 해당된다. 한편 유리의 소멸계수와 굴절율은 각각  $0.076\text{cm}^{-1}$ , 1.526, 3mm의 값이 사용되었다. 온실내로 투과된 직달 및 산란 일사의 해석을 위한 컴퓨터 시뮬레이션 모형을 개발하는 과정에서 적용된 가정은 다음과 같다. 유리온실의 길이는 유한하고, 구조재는 불투명 고체이며, 피복재로서 사용된 유리는 직달광과 산란광에 대하여 모두 비확산성을 갖는다. 또한 온실내 유리로부터의 내부 반사는 무시되었으며, 입사되는 태양광은 완전한 평행광이다. 시뮬레이션 모형에서 사용된 시간증분은 1시간이다.

Table 1. Dimensions and technical details of the glasshouse used in this simulation model

Number of spans	1 and 5
Length of the span	98 m
Width of the span	4 m
Height of side	2.2 m
Height of ridge	3.16 m
Roof slope	24.6 °
Size of glass panes	0.68 x 0.45 m
Thickness of glass panes	3 mm
Depth of structural members	3 cm
Width of structural members on roofs and sides	4 cm
Width of horizontal structural members on gable ends	4 cm
Width of vertical structural members on gable ends	5 cm
Main structural members on roofs and sides	
distance apart	2.45 m
width	8 cm
depth	10 cm

### 3. 결과 및 고찰

#### 가. 산란일사의 투과도

식(3)에서 가정된 천공의 등방성은 온실내에서 산란일사의 투과도가 동방위 또는 계절의 변화와 무관함을 암시하는 것이다. 표 2는 식(3)을 사용하여 태양고도

의 함수로서 계산된 단동온실에서의 산란일사 투과도를 나타낸 것이다. 표 2에서 태양고도는 19등분되었다. 즉 태양고도의 사인값,  $\sin(H_i)$ 가 0.1~1.0에서 0.05 간격으로 나누어진다. 단동온실을 대상으로 계산된 산란일사의 투과도는 60.4%로서, Harnett<sup>(6)</sup>이 동서동과 남북동 온실에서 측정된 산란일사의 투과도 59.7~61.9%에 근접한 것으로 나타났다. 온실내에서 위치에 따른 산란일사 투과도의 변화가 매우 작기 때문에 본 연구에서 개발된 시뮬레이션 모형에서는 산란일사 투과도를 60%로 가정하여 사용하였다.

Table 2. Transmissivity of diffuse solar radiation in single span glasshouse as a function of the sun's altitude.

I	$H_i$	$H_{i+1}$	$\sin(H_i)$	$\sin(H_{i+1})$	$T_i^*$	WC <sup>**</sup>	$T_i \times WC_i$	$\sum T_i \times WC_i$ <sup>***</sup>
1	4.3	7.2	0.075	0.125	0.51	0.010	0.005	0.002
2	7.2	10.1	0.125	0.175	0.53	0.015	0.008	0.010
3	10.1	10.3	0.175	0.225	0.53	0.020	0.011	0.021
4	13.0	16.0	0.225	0.275	0.55	0.025	0.014	0.035
5	16.0	19.0	0.275	0.325	0.56	0.030	0.017	0.052
6	19.0	22.0	0.325	0.375	0.54	0.035	0.019	0.070
7	22.0	25.2	0.375	0.425	0.56	0.040	0.023	0.093
8	25.2	28.4	0.425	0.475	0.58	0.045	0.026	0.119
9	28.4	31.7	0.475	0.525	0.58	0.050	0.029	0.148
10	31.7	35.1	0.525	0.575	0.59	0.055	0.032	0.180
11	35.1	38.7	0.575	0.625	0.60	0.060	0.036	0.216
12	38.7	42.5	0.625	0.675	0.61	0.065	0.040	0.256
13	42.5	46.5	0.675	0.725	0.62	0.070	0.043	0.300
14	46.5	50.8	0.725	0.775	0.62	0.075	0.046	0.346
15	50.8	55.6	0.775	0.825	0.63	0.080	0.051	0.396
16	55.6	61.0	0.825	0.875	0.63	0.085	0.053	0.449
17	61.0	67.7	0.875	0.925	0.64	0.090	0.058	0.508
18	67.7	77.2	0.925	0.975	0.65	0.095	0.062	0.569
19	77.2	90.0	0.975	1.000	0.71	0.050	0.035	0.604

\* Transmissivity of the glasshouse for altitude I

\*\* Weighting factor ( $\sin^2(H_i) - \sin^2(H_{i+1})$ ) for altitude I

\*\*\* Cumulative transmissivity of diffuse solar radiation

#### 나. 직달일사의 투과도

개발된 시뮬레이션 모형에 의해서 분석된 국내의 서울(37°34' N), 전주(35°49' N) 및 제주(33°31' N) 지역에서 온실내 직달일사 투과도에 미치는 온실 동방위의 영향이 다음과 같다.

그림 3은 전주지역에서 단동 온실의 동방위에 따른 직달일사 투과도의 년중 변화를 나타낸 것이다. 동방위가 0°인 東西棟 온실에서 직달일사의 투과도가 동방위가 90°인 南北棟 온실에서의 직달일사에 비해서 높게 나타나는 시기는 9월 28일부터 익년 3월 12일 까지로서 약 6개월에 이른다. 이 시기에는 동방위가 증가할수록, 즉 동서동에서 남북동으로 향할수록 투과도가 저하되는 것으로 나타났다.

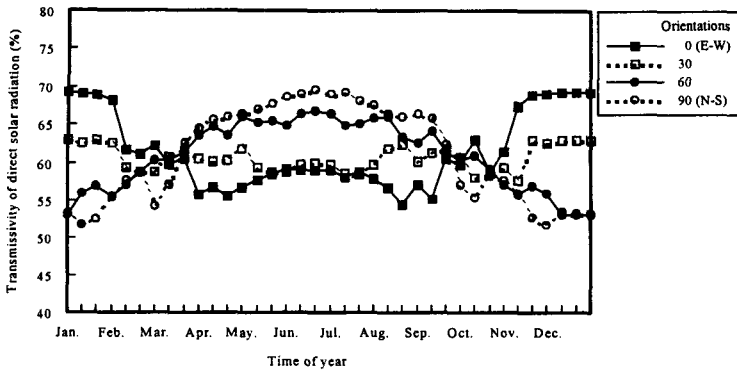


Fig. 3. Seasonal variation of transmissivity of direct solar radiation for the single span glasshouse with different orientations at Chonju (35° 49' N).

투과도가 가장 낮게 나타났으며, 남북동에서 최고치가 나타났다.

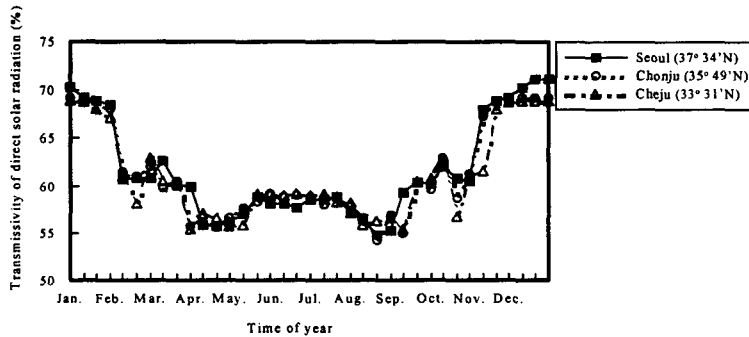


Fig. 4. Seasonal variation of transmissivity of direct solar radiation for the E-W single span glasshouse with different latitudes.

이는 거의 없음을 알 수 있다. 그림 5는 남북동의 단동 온실에서 위도에 따른 직

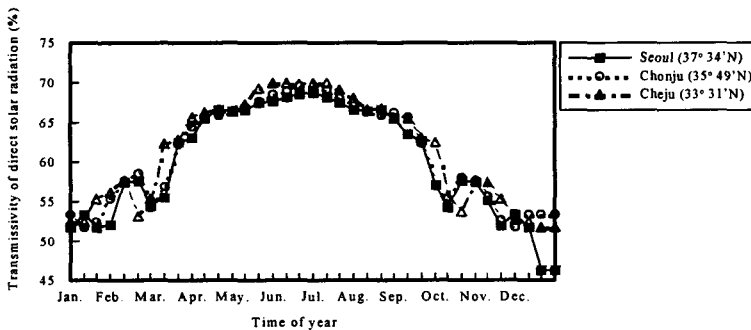


Fig. 5. Seasonal variation of transmissivity of direct solar radiation for the N-S single span glasshouse with different latitudes.

다. 이 가운데 겨울철에 직달일사의 투과도는 동서동에서 67~69% 정도이고, 남북동의 경우 51~55% 정도로 서 동서동에서 14~16% 정도 높게 나타났다. 반대로 여름철에는 동서동에서

동서동의 단동 온실에서 위도의 변화가 직달일사 투과도에 미치는 영향이 그림 4에 실려 있다. 그림 4로부터 직달일사의 투과도에 미치는 국내 지역간의 차이, 즉 위도에 따른 차이는 거의 없음을 알 수 있다. 그림 5는 남북동의 단동 온실에서 위도에 따른 직달일사 투과도를 나타낸 것이다. 동서동에서와 마찬가지로 남북동에서 직달일사 투과도에 대한 국내 지역간의 차이는 거의 없는 것으로 분석되었다.

#### 4. 요약 및 결론

온실의 동방위 및 지붕경사각, 구조물의 재원, 설치 지역의 위도 등이 단동 또는 연동형 유리 온실내의 직달 및 산란일사 투과에 미치는 효과를 분석하고자 컴퓨터 시뮬레이션 모형이 개발되었다. 개발된 모형은 년중일수, 온실의 방위 및 설치된 지점의 위도, 지붕경사각이 서로 다른 단동 및 연동 온실에 대하여 적용할 수 있다. 본 연구에서 수행된 온실의 동방위가 온실내의 직달 및 산란일사 투과도에 미치는 영향에서 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 가. 단동의 유리온실에서 계산된 산란일사의 투과도는 60.4%로서, 동방위에 무관하게 일정한 값을 갖는 것으로 나타났다.
- 나. 겨울철에 직달일사의 투과도는 동서동에서 67~69% 정도이고, 남북동의 경우 51~55% 정도로서 동서동에서 14~16% 정도 높게 나타났다.
- 다. 여름철에 직달일사의 투과도는 동서동에서보다 남북동에서 높게 나타났다.
- 라. 직달일사의 투과도에 미치는 국내 지역간의 차이는 거의 없는 것으로 나타났다.

#### 참고문헌

- (1) 고헌균, 김문기, 김용현. 1989. 플라스틱 하우스의 직달 및 산란 일사량 해석. 한국태양에너지학회지 9(3):13-24.
- (2) 박재복, 고헌균. 1986. 플라스틱 온실의 일사량 분석과 열적 환경의 시뮬레이션에 관한 연구. I. 플라스틱 온실의 일사량 분석. 한국태양에너지학회지 6(2):22-32.
- (3) Critten, D.L. 1984. The effect of geometric configuration on the light transmission of greenhouses. J. agric. Engng Res. 29:199-206.
- (4) de Zwart, H.F. 1993. Determination of direct transmission of a multispans greenhouse using vector algebra. J. agric. Engng Res. 56:39-49.
- (5) Duffie, J.A. and W.A. Beckman. 1980. Solar engineering of thermal processes. John Wiley & Sons, Inc.
- (6) Harnett, R.F. 1975. Study of glasshouse type and orientation. Acta Horticulture 46:207-215.
- (7) Kozai, T., J. Goudriaan, and M. Kimura. 1978. Light transmission and photosynthesis in greenhouse. Centre for Agricultural Publishing and Documentation, Wageningen, Netherlands.
- (8) Mastalerz, J.W. 1977. The greenhouse environment. John Wiley & Sons, Inc.
- (9) 古在豊樹. 1974. 溫室の構造と透過光量に関する理論的解析. 農業氣象 30(2):71-79.
- (10) 古在豊樹. 1973. 溫室の光透過に関する數値實驗(第1報). 農業氣象 29(3):23-30.