

연동 유리온실내의 직달일사 및 산란일사 투과율 해석⁺

Analysis of the Transmissivities of Direct and Diffuse Solar Radiation in Multispan Glasshouse

김 용 현* 이 석 건**
정희원 정희원
Y. H. Kim S. G. Lee

ABSTRACT

Effects of the number of spans, orientation and latitude on the transmissivities of direct and diffuse solar radiation in multispan glasshouse were analyzed using a computer simulation model (Kim and Lee, 1997). The number of spans did not affect the transmissivity of diffuse solar radiation, ranging 60~61%. The transmissivities of direct solar radiation were 55~64% for E-W orientation and 47~70% for N-S orientation in ten multispan glasshouse. There was no effect of the latitude on the transmissivity of direct solar radiation in domestic regions. Differences in the transmissivity of direct solar radiation between single-span and multispan glasshouse were significant for E-W orientation during winter season; however, those were relatively small for N-S orientation throughout the year. Transmissivity of direct solar radiation decreased with the increasing number of spans for E-W glasshouse, whereas those for N-S glasshouse was hardly affected by the number of spans.

주요용어(Key Words): 온실 동방위(greenhouse orientation), 시뮬레이션 모형(simulation model), 연동 유리 온실(multispan glasshouse), 일사 투과율(transmissivity of solar radiation), 직달일사 및 산란일사(direct and diffuse solar radiation)

1. 서 론

온실내의 상면에 도달하는 일사는 직달일사와 산란일사로 구분되어 투과된다. 이 가운데 직달일사는 온실이 설치된 지역의 위도, 온실의 동방위 및 형상, 동수, 구조물의 크기, 피복재의 광학적 특성 및 설치일수, 연중일수, 기상 조건, 지붕면의 경사각 등에 따라 변화된다. 이제까지 온실내로 투과되는 일사량에 대해서 여러가지 연구 결과(Critten, 1984; de Zwart, 1993; Kozai 등, 1978; 古在豊樹, 1974)가 제시되어 왔다. 그러나 국내에서 기존의 연구 결과(고 등, 1989

; 박과 고, 1986)는 플라스틱 온실내의 일사 투과에 관한 것으로서, 온실의 동수, 동방위, 지붕경사각, 동고 및 측고, 구조물의 재원, 설치 지역의 위도 등이 유리 온실내의 직달 및 산란일사 투과에 미치는 효과가 체계적으로 분석된 바는 없다. 이에 따라 온실내의 광환경에 대한 설계 기준이 정립되어 있지 않은 실정이다. 최근들어 김과 이(1997, 1998)는 유리 온실내로 투과된 직달 및 산란일사의 해석을 위한 컴퓨터 시뮬레이션 모형을 개발하여, 동방위가 단동 및 연동 유리온실내의 직달일사 투과율에 미치는 영향을 분석한 바 있다. 본고에서는 연동온실에서 동

⁺ 본 연구는 1995년도 농림부 농림수산기술관리센터의 현장애로기술개발과제로 수행되었음.

* 전북대학교 농과대학 농업기계공학과

** 경북대학교 농과대학 농업토목공학과

방위, 동수가 온실내의 직달일사 및 산란일사 투과율에 미치는 영향에 대해서 보고하고자 한다.

2. 재료 및 방법

가. 연동 온실내의 직달 및 산란일사 투과율 해석을 위한 컴퓨터 시뮬레이션 모형

본 연구에 사용된 컴퓨터 시뮬레이션 모형은 김과 이(1997)가 단동 유리온실내의 일사 투과율을 해석하고자 개발한 시뮬레이션 모형을 기본으로 하여 연동 온실에 적용한 것으로서, 컴퓨터 시뮬레이션 모형의 개요를 설명하면 다음과 같다.

1) 유리 지붕면에서의 태양광 투과율

유한한 길이의 고체 구조물로 구성된 온실내의 상면 또는 식물체에 태양광이 도달하기 전에 직달광은 최소한 1회 이상 온실의 지붕면을 통과하며, 통과된 광은 구조체에 의해서 광투과가 차단되기도 한다. 태양광이 유리로 된 지붕면을 통과할 때의 흡수율, 반사율 또는 투과율은 다음과 같은 프레셀넬식 (Duffie and Beckmann, 1980)에 의해서 계산된다.

$$\alpha = \exp(-K \cdot GLP) \dots\dots\dots (1)$$

$$r = \left[\frac{(n_1 - n_2)}{(n_1 + n_2)} \right]^2 \dots\dots\dots (2)$$

$$\tau = \frac{(1 - r^2)\alpha}{\{1 - (r \cdot \alpha)^2\}} \dots\dots\dots (3)$$

- 여기서, α : 흡수율
- K : 유리의 소멸계수 (= 0.076cm⁻¹)
- GLP : 유리 내부에서 복사의 actual path-length
- r : 반사율
- n_1 : 공기의 굴절율 (= 1)
- n_2 : 유리의 굴절율 (= 1.526)
- τ : 투과율

2) 온실내의 직달 및 산란일사 투과율

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 투과율은 온실의 형태가 결정되면 거의 일정한 값을 갖는다. 온실내에서 직달일사 및 산란일사를 포함한 전체일사의 투과율(TT)은 다음 식에 의해서 계산된다.

$$TT = FRDIF \times TRDIF + (1 - FRDIF) \times T \dots\dots (4)$$

여기서, $FRDIF$: 실외 전체일사에 대한 산란일사의 비율

$TRDIF$: 산란일사의 투과율

T : 직달일사 투과율

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

$$AD = \frac{\sum_{t=\text{sunrise}}^{\text{sunset}} DRP(t) \cdot T(I, J) \cdot \Delta t}{\sum_{t=\text{sunrise}}^{\text{sunset}} DRP(t) \cdot \Delta t} \dots\dots\dots (5)$$

식(5)에서 $I_i = (n \cdot H_i + 90)/90$, $J_i = (m \cdot A_i + 180)/180$ 이다. 이 밖에 H_i : 태양고도, A_i : 태양방위각, $DRP(t)$: 임의의 시각 t 에서 옥외 직달일사, m, n : 상수, Δt : 시간중분이다. 온실이 단면과 종면에 대해서 대칭을 이룰 때 임의의 태양고도에서 태양방위각 A_i ($0^\circ \leq A_i \leq 90^\circ$)에 대한 온실 투과율은 $-A_i$ 에서의 투과율과 동일하다. 등방성으로 가정된 천공에서 임의의 태양고도와 태양방위각에 따른 산란일사의 투과율은 다음 식으로 표시된다.

$$TRDIF = \sum_{J=1}^m \sum_{I=1}^n T(I, J) \frac{[\sin^2(90 I/n) - \sin^2\{90(I-1)/n\}]}{m} \dots\dots\dots (6)$$

식(6)에서 대괄호안의 수식은 태양고도의 함수로 표시되는 산란일사 투과율의 보정계수에 해당된다 (Kozai et al., 1978).

3) 직달 및 산란일사 투과율 해석을 위한 컴퓨터 시뮬레이션 모형

규칙적으로 배열되어 있는 온실의 구조물로 인한 투과율의 편향을 배제하려면 특정한 방향으로 입사되는 개개의 직달광이 상면에 임의로 도달하여야 한다. 이를 위하여 본 연구에서는 난수를 발생시킨 가운데 임의의 상면에 도달되는 직달일사의 투과율을 태양고도와 태양방위각에 따라 계산하였다. 태양고도와 태양방위각의 구분은 0~90° 범위에서 각각 5° 로서, 전부 19 × 19 = 361의 등분이 이루어졌다. 온실내로 투과된 직달 및 산란일사의 해석을 위한 컴퓨터 시뮬레이션 모형을 개발하는 과정에서 적용된 가정은 다음과 같다.

- ① 유리온실의 길이는 유한하다.
- ② 구조재는 불투명 고체이다.
- ③ 피복재로서 사용된 유리는 직달광과 산란광에 대하여 모두 비확산성이다.
- ④ 온실내로 입사되는 태양광은 완전한 평행광이다.

⑤ 유리로부터의 내부 반사는 무시한다.

그림 1은 본 연구의 시뮬레이션 모형에 사용된 유리온실의 정면도와 측면도를 나타낸 것이다. 온실의 크기와 구조물로 사용된 부재의 주요 치수는 Table 1과 같다. 시뮬레이션 모형에 사용된 온실의 골조율, 즉 온실의 전체 표면에 대하여 구조물이 차지하는 면적의 비율은 약 16% 정도로서, 이와 같은 비율은 일반적인 온실의 골조율에 해당된다. 한편 유리의 소멸계수와 굴절율로서 각각 0.076cm⁻¹, 1.526의 값을 사용하였다.

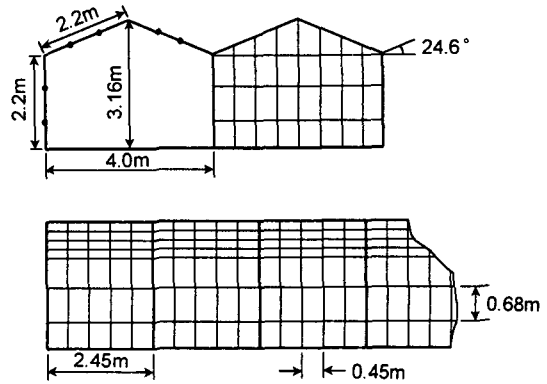


Fig. 1 Front and side views of the multispan glasshouse analyzed in this simulation.

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

Number of spans	1, 3, 5, 10
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 slop	24.6°
Size of glass panes	0.68 × 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

나. 컴퓨터 시뮬레이션 모형의 검증

국내의 주요 지역, 즉 상이한 위도에서 연동 온실 내의 일사 투과율에 미치는 영향을 살펴보고자 서울(37°34' N, 126°58' E), 전주(35°49' N, 127°09' E) 및 제주(33°31' N, 126°32' E)의 3개 지역을 분석 지역으로 선정하였다. 본 연구에서 개발된 시뮬레이션 모형의 검증을 위하여 모형에 적용된 단동 및 3, 5, 10 연동 유리온실과 동일한 온실내에서 연중 투과율 변화를 측정하여 비교하는 것이 바람직하나, 모형에 적용된 온실내에서 직달일사 및 산란일사의 투과율을 실측하는 것은 간단치 않다. 그러므로 본 연구에서는 국내 주요 지역의 위도와 유사한 日本 東京(35°41' N)을 대상으로 Kozai 등(1978)이 분석한 결과와 본 연구의 결과를 비교 분석하는 것으로 컴퓨터 시뮬레이션 모형을 검증하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 연동 온실에서 산란일사의 투과율

그림 2는 시뮬레이션 모형에 의해서 유리온실의 동수가 산란일사의 투과율에 미치는 영향을 나타낸 것이다. 유리온실에서 산란일사의 투과율에 미치는 동수의 영향은 거의 없는 것으로 나타났다. 즉 3, 5 및 10연동 온실에서 산란일사의 투과율은 각각 60.9%, 61.1%, 61.7%로서 단동 유리온실의 산란일사 투과율 60.4%에 비해서 조금씩 높게 나타났으나, 증가 정도가 매우 미약하였다. 상기의 결과는 Kozai 등(1978)이 日本 東京(35°41' N)을 대상으로 분석한 결과와 일치한다. 김과 이(1997)의 이전 연구 결과에 의하면 단동 온실내에서 산란일사의 투과율은 동방위 또는 계절의 변화와 무관한 것으로 나타났다. 이로 말미암아 온실내의 산란일사 투과율에 미치는 동수의 영향은 동방위 또는 계절의 변화와 마찬가지로 무관한 것으로 판단된다.

나. 연동 온실에서 직달일사의 투과율

국내의 서울(37°34' N), 전주(35°49' N) 및 제주(33°31' N) 지역에서 10 연동 온실내의 직달일사 투과율에 미치는 계절 및 온실 동방위의 효과가 그림 3과 그림 4에 실려 있다. 동서동의 연동 온실내 직달일사 투과율은 전 지역에서 연중 55~64%로 나타나, 국내에서 연동 온실내의 직달일사 투과율에 미치는 지역간의 차이, 즉 위도에 따른 차이는 없는 것으로

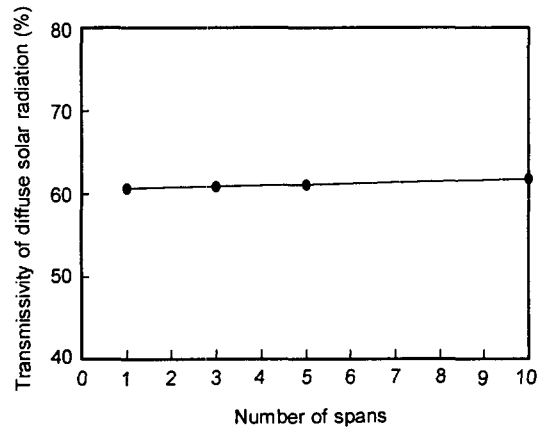


Fig. 2 Effect of the number of spans on the transmissivity of diffuse solar radiation in glasshouse.

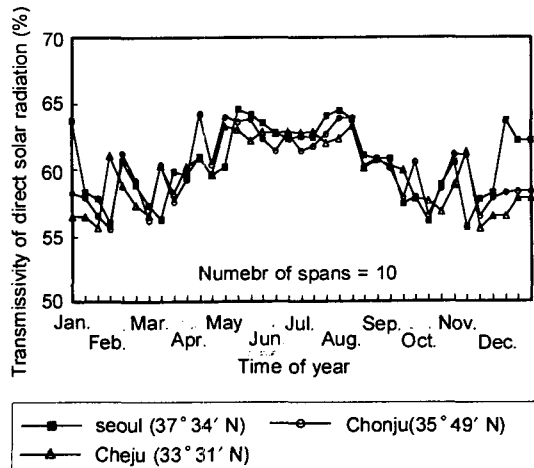


Fig. 3 Seasonal variation of transmissivity of daily direct solar radiation for the multispan glasshouse in E-W with different latitudes.

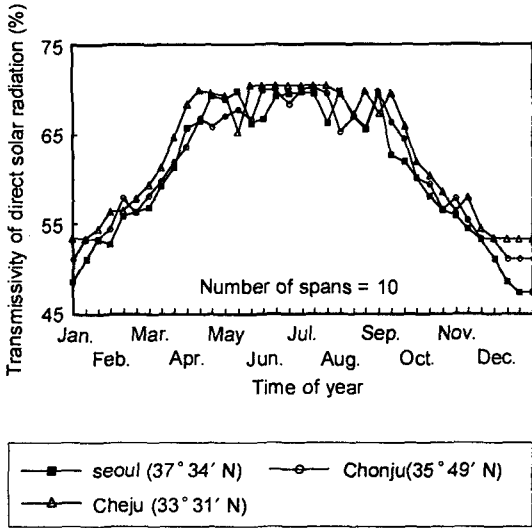


Fig. 4 Seasonal variation of transmissivity of daily direct solar radiation for the multispan glasshouse in S-N with different latitudes.

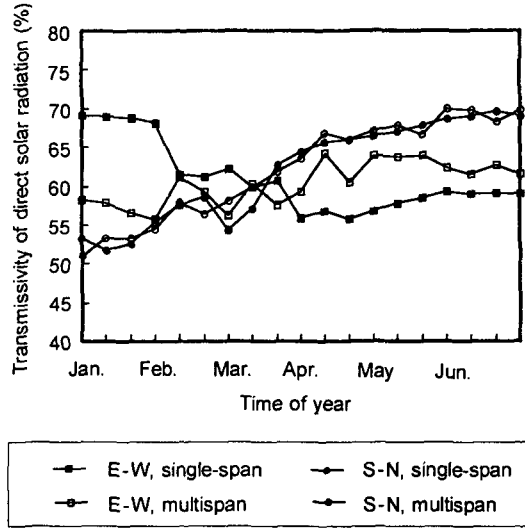


Fig. 5 Seasonal variation of transmissivity of daily direct solar radiation for the single-span and multispan glasshouse in E-W and N-S orientations at Chonju (35° 49' N).

나타났다.

계절 변화에 따른 직달일사 투과율은 5월~8월의 61~64%를 제외한 나머지 시기에서는 55~60%로 낮게 나타났으나, 계절간의 차이는 그다지 높지 않게 나타났다. 한편, 남북동의 10 연동 온실에서 직달일사 투과율은 47~70%로서 직달일사 투과율에 미치는 계절간의 차이는 동서동에 비해서 높게 나타났다.

그림 5는 전주지역에서 단동과 10 연동 온실에서 동방위에 따른 직달일사 투과율을 비교한 것이다. 계절별 직달일사의 투과율이 하지를 중심으로 대칭 형태를 이루므로 10월~익년 3월에 동서동의 단동 온실에서 직달일사 투과율이 가장 높게 나타났다. 단동과 연동에서 직달일사 투과율의 차이는 10월~익년 3월에 동서동에서 높게 나타난 가운데 11월 20일과 1월 20일을 전후한 시기에서 최고치가 나타났다. 한편 남북동의 단동과 연동 온실에서 직달일사 투과율은 계절에 상관없이 거의 비슷하게 나타났다. 이것은 연동 온실에서 인접동의 차광에 기인한 직달일사 투과율의 감소가 상대적으로 남북동에서 작게 이루어짐을 의미하는 것이다. 낮시간이 가장 짧은 동지에 동서동 연동 온실의 직달일사 투과율은 약

58%로서 남북동의 51%에 비해서 7% 높게 나타났다. 그런데 2월 25일을 전후한 시기에서 동서동의 직달일사 투과율은 남북동의 투과율과 동일하게 나타났다. 이후에는 남북동의 투과율이 더욱 높게 나타났다. 그러므로 직달일사 투과율을 고려할 때 동서동 연동 온실이 남북동에 비해서 유리한 시기는 약 4개월 정도이다. 이러한 결과는 Kozai 등(1978)이 日本 東京(35°41' N)을 대상으로 분석한 결과와 매우 유사하다.

동지에 전주지역에서 유리온실내의 직달일사 투과율에 미치는 동수의 효과가 그림 6에 실려 있다. 동수에 관계없이 동서동에서의 직달일사 투과율이 남북동의 투과율에 비해서 높게 나타났는데, 이러한 결과는 동수가 적을수록 두드러지게 나타났다. 이와 같이 동수가 적은 동서동에서 투과율이 높게 나타난 것은 남향 측벽을 통해서 일사 투과율이 높게 이루어졌기 때문이다. 한편 동서동에서는 동수가 증가할수록 직달일사 투과율이 크게 감소하였으나, 남북동에서 직달일사 투과율에 미치는 동수의 영향은 상대적으로 작게 나타났다.

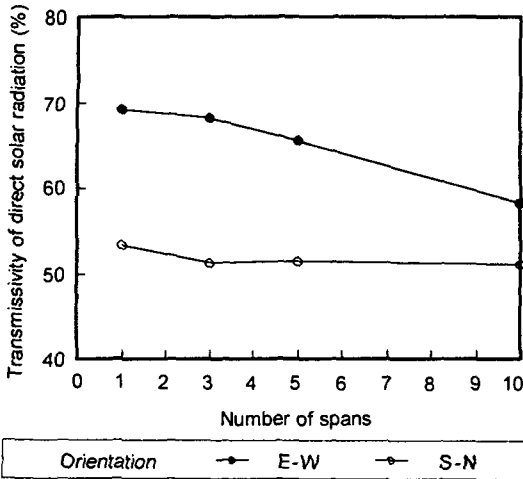


Fig. 6 Effect of the number of spans on the transmissivity of daily direct solar radiation at Chonju (35°49' N) on 22 December.

4. 요약 및 결론

연동 온실내의 직달일사 및 산란일사 투과율을 해석하고자 개발된 컴퓨터 시뮬레이션 모형을 이용하여 온실의 동수, 동방위, 설치 지역의 위도 등이 연동 유리 온실내의 직달 및 산란일사 투과율에 미치는 효과를 분석하였다. 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 연동 온실내의 산란일사 투과율은 60~61%로서 산란일사 투과율은 동수에 상관없이 거의 일정하게 나타났다.
- 2) 연중 10 연동 온실내에서 연중 직달일사 투과율 동서동에서 55~64%, 남북동에서 47~70%로 나타났다.
- 3) 국내에서 위도에 따른 연동온실내 직달일사 투과율의 차이는 거의 없는 것으로 나타났다.
- 4) 단동과 연동에서 직달일사 투과율의 차이가 동서동의 경우 10월~익년 3월에 높게 나타났으나, 남북동에서는 계절에 상관없이 거의 일정하게 나타났다.

5) 동서동의 연동 온실에서 동수가 증가할수록 직달일사 투과율이 크게 감소하였으나, 남북동에서 직달일사 투과율에 미치는 동수의 영향은 상대적으로 작게 나타났다.

참 고 문 헌

1. 고훈균, 김문기, 김용현. 1989. 플라스틱 하우스의 직달 및 산란 일사량 해석. 한국태양에너지학회지 9(3):13-24.
2. 김용현, 이석건. 1997. 유리온실내의 직달일사 및 산란일사 해석을 위한 시뮬레이션 모형 개발 -동방위가 온실내의 직달일사 투과도에 미치는 영향-. 한국생물생산시설환경학회지 6(3):176-182.
3. 김용현, 이석건. 1998. 연동 유리온실내의 직달 및 산란일사 투과율 해석. 한국농업기계학회 동계 학술대회 논문집 3(1):150-155.
4. 박재복, 고훈균. 1986. 플라스틱 온실의 일사량 분석과 열적 환경의 시뮬레이션에 관한 연구. I. 플라스틱 온실의 일사량 분석. 한국태양에너지학회지 6(2):22-32.
5. Critten, D. L. 1984. The effect of geometric configuration on the light transmission of greenhouses. J. Agric. Engng Res. 29:199-206.
6. de Zwart, H. F. 1993. Determination of direct transmission of a multispans greenhouse using vector algebra. J. Agric. Engng Res. 56:39-49.
7. Duffie, J. A. and W. A. Beckman. 1980. Solar engineering of thermal processes. John Wiley & Sons, Inc.
8. Kozai, T., J. Goudriaan, and M. Kimura. 1978. Light transmission and photosynthesis in greenhouse. Centre for Agricultural Publishing and Documentation, Wageningen, Netherlands.
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.