

연동 유리온실내의 직달 및 산란일사 투과율 해석

Analysis for the transmissivity of direct and diffuse solar radiation in multispan glasshouse

김용현* 이석진**
정희원 정희원
Y.H. Kim S.G. Lee

1. 서론

온실이란 식물 생육에 요구되는 태양광을 유용하게 활용하고자 투명 피복재가 사용된 구조물을 일컫는다. 온실내로 투과되는 일사량은 온실이 설치된 지역의 위도, 온실의 동방위 및 형상, 동수, 구조물의 재원, 피복재의 광학적 특성, 년중일수, 기상 조건, 지붕면의 경사각 등에 따라 변화된다. 이제까지 온실내로 투과되는 일사량에 대해서 여러가지 연구 결과 (Critten, 1984; de Zwart, 1993; Harnett, 1975; Kozai 등, 1978; 古在豊樹, 1973, 1974)가 제시되어 왔다. 그러나 국내에서의 연구 결과(고 등, 1989; 박과 고, 1986)는 플라스틱 온실내의 일사량에 대한 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. 이에따라 온실내의 광환경에 대한 설계 기준이 정립되어 있지 않은 실정이다. 최근들어 김과 이(1997)는 유리 온실내로 투과된 직달 및 산란일사의 해석을 위한 컴퓨터 시뮬레이션 모형을 개발하여, 동방위가 단동 유리온실내의 직달일사 투과율에 미치는 영향을 분석한 바 있다. 본고에서는 연동온실에서 동방위, 동수가 온실내의 직달일사 및 산란일사 투과율에 미치는 영향에 대해서 보고하고자 한다.

2. 재료 및 방법

가. 태양의 위치

임의의 방위를 갖는 수평면과 태양광이 이루는 기하학적 형태는 태양고도, 태양방위각, 태양 적위, 시간각 등의 여러 각도에 의해서 표시된다. 그러므로 임의의 지역에 위치한 온실내로 투과되는 일사량은 해당 지역의 위도, 계절, 대기투과율 등에 따라 달라진다.

* 전북대학교 농과대학 농업기계공학과

** 경북대학교 농과대학 농공학과

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

연동 온실내의 직달 및 산란일사 투과율 해석에 사용된 컴퓨터 시뮬레이션 모형은 김과 이(1997)가 개발한 것으로서, 시뮬레이션 모형을 간단하게 설명하면 다음과 같다. 유한한 길이의 고체 구조물로 구성된 온실내의 상면 또는 식물체에 도달하는 직달광은 해당 지역의 위도 또는 계절에 따라 특정한 입사각을 이루면서 최소한 1회 이상 온실의 지붕면을 통과하며, 통과된 광은 구조재에 의해서 광투과가 차단되거나 온실내로 투과된다. 이 경우 지붕면을 통과할 때마다 유리에 의한 태양광의 반사율 또는 흡수율은 프레셀넬식(Duffie와 Beckman, 1980)에 의해서 계산된다.

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 $19 \times 19 = 361$ 의 등분이 이루어졌다.

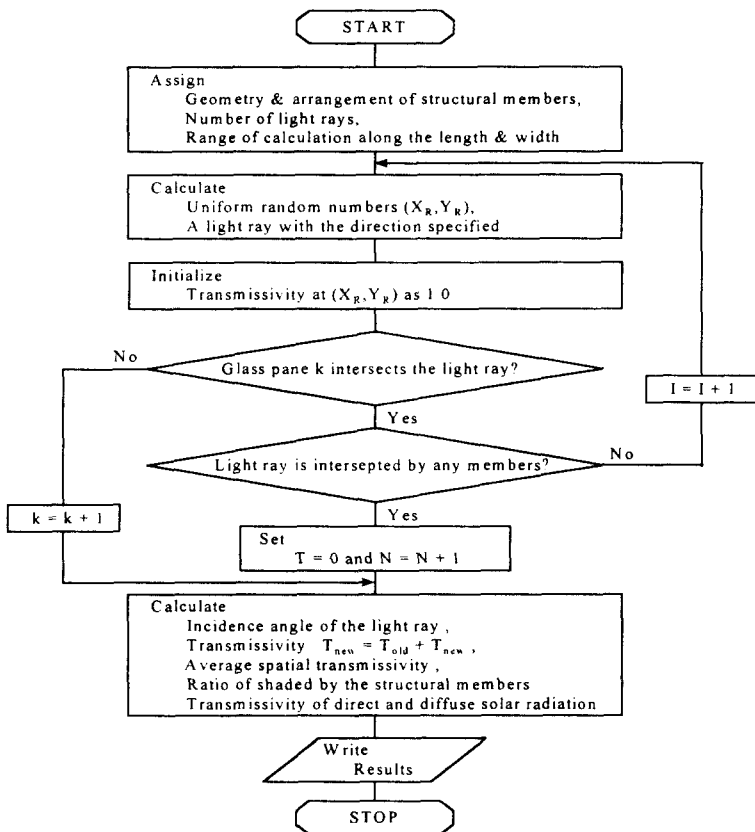


Fig. 1. Flow chart for the calculation of transmissivity of direct and diffuse solar radiation in greenhouse.

단동 및 연동 온실에서 직달광에 대한 평균 투과율의 예측에 사용된 시뮬레이션 모형의 순서도가 Fig. 1에 실려 있다. Fig. 2는 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%로서, 이와 같은 비율은 보통 온실의 골조율에 해당된다. 한편 유리의 소멸계수와 굴절율로서 각각 0.076cm^{-1} , 1.526의 값

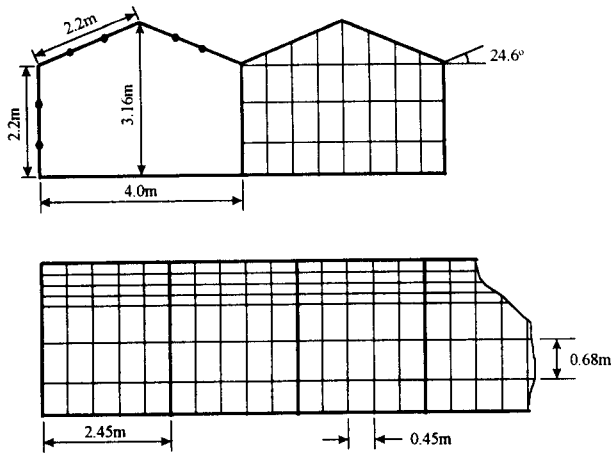


Fig. 2. Front and side views of the multispan glasshouse analyzed in this simulation.

이 사용되었다. 온실내로 투과된 직달 및 산란일사의 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. 한편, 시뮬레이션

모형에서 사용된 시간증분은 1시간이다.

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 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. 연동온실에서 산란일사의 투과율

김과 이(1997)의 이전 연구 결과에 의하면 단동 온실내에서 산란일사의 투과율은 동방위 또는 계절의 변화와 무관한 것으로 나타났다. Fig. 3은 시뮬레이션 모형에 의해서 유리온실의 동수가 산란일사의 투과율에 미치는 영향을 나타낸 것이다. 유리온실에서 산란일사의 투

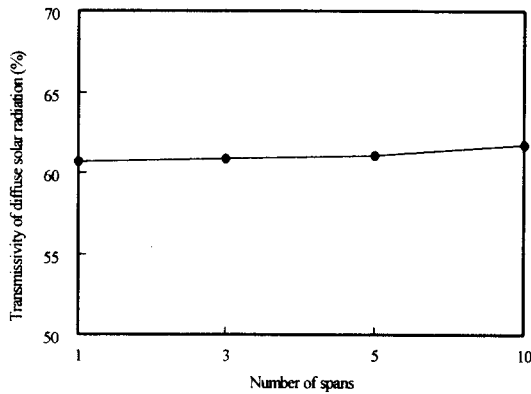


Fig. 3. Effect of the number of spans on the transmissivity of diffuse solar radiation in glasshouse.

과울에 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. 이로 말미암아 온실내의 산란일사 투과율에 미치는 동수의 영향은 동방위 또는 계절의 변화와 마찬가지로 무관한 것으로 판단된다.

나. 연동온실에서 직달일사의 투과율

국내의 서울(37°34' N), 전주(35°49' N) 및 제주(33°31' N) 지역에서 10연동 온실내의 직달일사 투과율에 미치는 계절 및 온실 동방위의 효과가 Fig. 4와 Fig. 5에 실려 있다. 동서동의 연동온실내 직달일사 투과율은 전 지역에서 55~64%로 나타나, 국내에서 연동온실내의 직달일사 투과율에 미치는 지역간의 차이, 즉 위도에 따른 차이는 없는 것으로 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 10연동

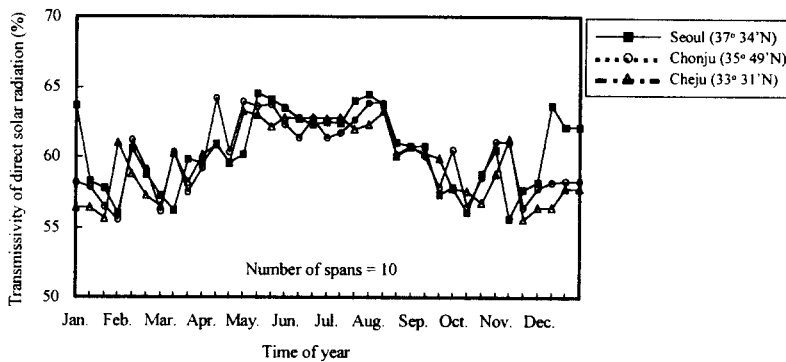


Fig. 4. Seasonal variation of transmissivity of daily direct solar radiation for the multispan glasshouse in E-W with different latitudes.

온실에서 직달일사 투과율은 47~70%로서 직달일사 투과율에 미치는 계절간의 차이는 동서동에 비해서 높게 나타났다.

Fig. 6은 전주지역에서 단동과 10연동 온실에서 동방위에 따른 직달일사 투과율을 비교한 것이다. 계절별 직달일사의 투과율

이 하지를 중심으로 대칭 형태를 이루므로 10월~익년 3월에 동서동의 단동온실에서 직달일사 투과율이 가장 높게 나타났다. 단동과 연동에서 직달일사 투과율의 차이는 10월~익년 3월에 동서동에서 높게 나타난 가운데 11월 20일과 1월 20일을 전후한 시기에서 최고치가 나

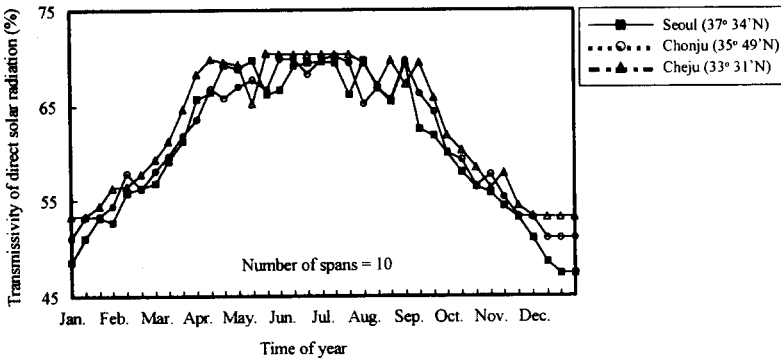


Fig. 5. Seasonal variation of transmissivity of daily direct solar radiation for the multispans glasshouse in S-N with different latitudes.

다. 낮시간이 가장 짧은 동지에 동서동 연동온실의 직달일사 투과율은 약 58%로서 남북동의 51%에 비해서 7% 높게 나타났다. 그런데 2월 25일을 전후한 시기에서 동서동의 직달일사 투과율은 남북동의 투과율과 동일하게 나타났으며, 이후에는 남북동의 투과율이 더욱 높

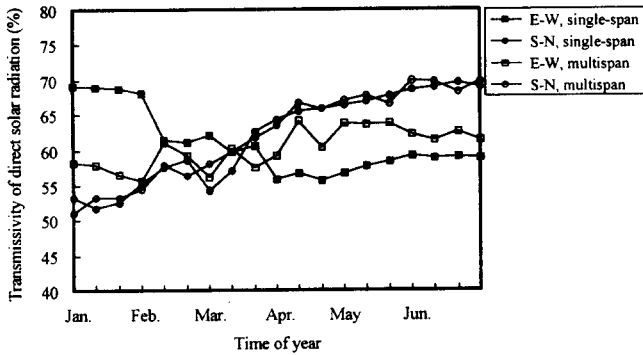


Fig. 6. Seasonal variation of transmissivity of daily direct solar radiation for the single-span and multispans glasshouse in E-W and N-S orientations at Chonju (35° 49' N).

동지에 전주지역에서 유리온실내의 직달일사 투과율에 미치는 동수의 효과가 Fig. 7에 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.

타났다. 한편 남북동의 단동과 연동온실에서 직달일사 투과율은 계절에 상관없이 거의 비슷하게 나타났다. 이것은 연동 온실에서 인접동의 차광에 기인한 직달일사 투과율의 감소가 상대적으로 남북동에서 작게 이루어짐을 의미하는 것이

다. 그러므로 직달일사 투과율을 고려할 때 동서동 연동 온실이 남북동에 비해서 유리한 시기는 약 4개월 정도이다. 상기의 결과는 Kozai 등(1978)이 日本東京(35°41' N)을 대상으로 분석한 결과와 일치하는 것이다.

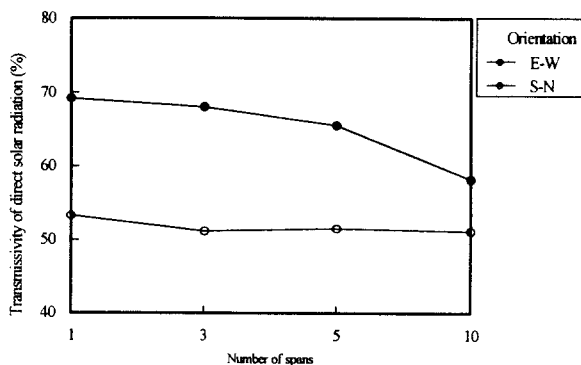


Fig. 7. Effect of the number of spans on the transmissivity of daily direct solar radiation at Chonju (35° 49' N) on 22 December.

산란일사 투과율에 미치는 효과를 분석할 수 있다. 또한 지역별 전천일사량을 입력시키면 온실내의 직달 및 산란일사량을 쉽게 분석할 수 있다.

5. 참고문헌

1. 고택균, 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 -. 한국생물생산시설환경학회 학술논문발표요지 6(2):1-7.
3. 박재복, 고택균. 1986. 플라스틱 온실의 일사량 분석과 열적 환경의 시뮬레이션에 관한 연구. I. 플라스틱 온실의 일사량 분석. 한국태양에너지학회지 6(2):22-32.
4. Critten, D.L. 1984. The effect of geometric configuration on the light transmission of greenhouses. J. agric. Engng Res. 29:199-206.
5. de Zwart, H.F. 1993. Determination of direct transmission of a multispan greenhouse using vector algebra. J. agric. Engng Res. 56:39-49.
6. Duffie, J.A. and W.A. Beckman. 1980. Solar engineering of thermal processes.. John Wiley & Sons, Inc.
7. Harnett, R.F. 1975. Study of glasshouse type and orientation. Acta Horticulture 46:207-215.
8. Kozai, T., J. Goudriaan, and M. Kimura. 1978. Light transmission and photosynthesis in greenhouse. Centre for Agricultural Publishing and Documentation, Wageningen, Netherlands.
9. Mastalerz, J.W. 1977. The greenhouse environment. John Wiley & Sons, Inc.
10. 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.
11. 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.

4. 요약 및 결론

연동 온실내의 직달일사 및 산란 일사 투과율을 해석하고자 컴퓨터 시뮬레이션 모형을 개발하였으며, 온실의 동수, 동방위, 설치 지역의 위도 등이 연동 유리 온실내의 직달 및 산란일사 투과율에 미치는 효과를 분석하였다. 상기 시뮬레이션 모형을 이용하면 온실구조물의 재원, 지붕경사각 등이 온실내의 직달 및