

## 컴퓨터 시뮬레이션에 의한 유리온실내의 일사 투과율에 미치는 골조율 및 동길이의 영향<sup>1)</sup>

### Effects of frame ratio and length on the transmissivity of solar radiation in glasshouse by a computer simulation

김용현\* · 이석건<sup>1</sup>

전북대학교 생물자원시스템공학부(농업과학기술연구소), <sup>1</sup>경북대학교 농업토목공학과

Kim, Yong-Hyeon\* · Lee, Suk-Gun<sup>1</sup>

Division of Bioresource Systems Engineering, Chonbuk National University, Chonju,  
561-756, Korea

<sup>1</sup>Dept. of Agricultural Engineering, Kyungpook National University, Taegu, 702-701, Korea

#### Abstract

This study was conducted to investigate the effects of the frame ratio and greenhouse length on the transmissivities of direct and diffuse solar radiation in glasshouse using a computer simulation model developed by Kim and Lee(1997). Transmissivity of diffuse solar radiation slightly decreased as the frame ratio increased. There was no effect of number of spans on the transmissivity of diffuse solar radiation at the same frame ratio. In single or multispans glasshouse, transmissivity of direct solar radiation was 1.5-3.0% higher at the frame ratio of 11.3% than those at the frame ratio of 14.9%. Also the transmissivity of direct solar radiation was 1.5-3.0% lower at the frame ratio of 18.3% than those at the frame ratio of 14.9%. Effect of the increased or decreased frame ratio on the transmissivity of direct solar radiation was similar in E-W or S-N glasshouse. Since the high transmissivity of direct solar radiation exerted a beneficial influence upon the plant growth during winter season, the light and durable structural members were needed to maximize the transmission of solar radiation in glasshouse. Transmissivity of direct solar radiation in E-W or S-N glasshouse did not vary with the length of 24.5m long or more.

---

주제어 : 골조율, 온실, 일사 투과율, 컴퓨터 시뮬레이션 모형

Key words : computer simulation model, frame ratio, greenhouse, transmissivity of solar radiation

\* Corresponding author

<sup>1)</sup> 본 연구는 1995년도 농림부 농림기술관리센터의 현장애로기술개발과제로 수행되었음.

## 서 론

온실내에서 직달 및 산란일사의 투과율은 온실이 설치된 지역의 위도, 온실의 동방위 및 형상, 피복재의 광학적 특성, 년중일수, 기상 조건, 지붕면의 경사각 뿐만 아니라 온실의 길이, 구조물의 크기 등에 따라 달라질 수 있다.

현재 국내의 기상 조건에 적합한 표준형 유리온실의 설계 기준이 부분적으로 제시되고 있으나, 온실내의 광환경과 관련된 설계 기준은 제시되지 않고 있는 실정이다. 이 가운데 김과 이(1997)는 단동 온실내의 직달일사 및 산란일사 투과율을 해석할 수 있는 컴퓨터 시뮬레이션 모형을 개발하여 단동 유리온실의 동방위가 직달일사 투과율에 미치는 영향을 분석한 바 있다. 또한 김과 이(1998a, 1998b)는 개발된 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하여 연동 유리온실내의 직달일사 및 산란일사 투과율 분석, 지붕경사각이 온실내의 직달일사 및 산란일사의 투과율에 미치는 영향을 분석하여 온실의 광환경 설계 기준과 관련된 기초 자료를 제시한 바 있다.

국내에 보급되고 있는 유리온실은 크게 벤로형(Venlo type)과 광폭형(widespan type)으로 구분된다. 이 가운데 벤로형 온실에서는 동일한 규격의 구조재가 사용되고 있으나, 광폭형 온실의 경우 규격이 서로 다른 구조재가 사용되고 있다. 이것은 광폭형 온실의 규격화가 이루어지지 않고 있음을 의미하는 것이다. 온실의 골조율(frame ratio)은 온실의 전체 벽면적에 대하여 구조재가 차지하는 면적의 비율로서, 온실의 구조적 안전과 온실내의 일사 투과율에 커다란 영향을 미치는 인자에 해당된다. 이제까지 벤로형 온실과 광폭형 온실의 골조율에 대한 보고가 없으나, 대개 10~15% 정도로 추정된다.

벤로형 또는 광폭형 유리 온실의 골조로서 철골이 널리 사용되어 왔으나, 최근 들어

구조물의 경량화, 내식성의 강화, 가공성의 향상 등을 목적으로 온실의 골조가 알루미늄 구조재로 대체되고 있다. 온실에 사용되는 구조물을 선정하거나, 설계 기준을 제시할 때에는 구조물 자체의 안전성과 광투과의 차단을 최소화하는 방안을 동시에 고려하는 것이 바람직하다. 온실 구조재에 의한 광 투과의 차단 효과를 검토하려면 실제 규모의 온실에서 서로 다른 크기의 구조재를 설치한 가운데 계절 변화에 따른 직달일사 및 산란일사 투과율을 측정하는 것이 바람직하나, 이와 같은 방법의 적용에는 많은 노력과 비용이 들게 된다. 이 가운데 모형온실을 대상으로 그림자의 크기, 위치, 지속 시간 등에 미치는 구조재의 효과가 Mattson과 Maxwell(1971)에 의해서 보고된 바 있다. Mattson과 Maxwell(1971)은 단동의 모형온실을 제작하고 특정한 방향에서 광 조사가 이루어지는 상태에서 구조재에 의한 광 차단효과를 검토하였는데, 이것은 태양의 궤적과 일치하는 조명 시스템의 제작이 어렵기 때문인 것으로 판단된다. 古在(1974)는 온실의 형태와 동방위를 동일한 것으로 가정한 가운데 수치실험을 통하여 온실내의 일사량 분포에 미치는 구조재의 배치 및 두께의 효과를 보고하였다. 그런데 온실내의 직달일사 및 산란일사 투과율에 미치는 골조율에 대한 보고는 전무한 실정이다. 따라서 본 연구는 김과 이(1997)가 개발한 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하여 유리온실내의 직달일사 및 산란일사 투과율에 미치는 골조율과 동길이의 영향을 예측하고자 수행되었다.

## 재료 및 방법

### 1. 온실 구조물의 크기 및 골조율

Table 1에서 볼 수 있는 바와 같이 본 연구에서는 온실의 측면 및 지붕면에 사용된 구조재의 기본 폭을 0.04m로 가정하여

골조율을 계산하였으며, 이 값을 컴퓨터 시뮬레이션 모형의 입력자료로 사용하였다. 한편 온실의 골조율이 산란일사 및 직달일사 투과율에 미치는 영향을 구명하고자 온실의 측면 및 지붕면에 사용되는 수평 또는 수직 구조재의 폭은 기준 폭보다 각각 0.01m 씩 감소하거나 증가된 크기 즉 0.03m, 0.05m로 가정하였다. 이 때 구조재의 나머지 치수는 Table 1에 제시된 값과 동일한 것으로 가정하였다. 구조재의 폭이 0.04m 일 때의 골조율은 14.9%이다. 한편 구조재의 폭이 각각 0.03m, 0.05m인 경우에 해당되는 골조율은 각각 11.3%, 18.3%를 나타낸다. 상기의 골조율은 일반적인 온실의 골조율에 해당된다.

다음으로 온실의 기본 동길이를 98m로 설정하고, 동길이를 절반씩 줄여가면서 온실의 동길이가 직달일사 투과율에 미치는 영향을 검토하였다. 즉 온실 한동의 폭, 측고, 동고, 지붕경사각 등은 Table 1에 제시한 바와 같이 고정하였으며, 동길이가 각각 12.3m, 24.5m, 49m, 98m일 때 온실 내의 직달일사 투과율을 분석하였다.

2. 온실내의 일사 투과율 해석을 위한 컴퓨터 시뮬레이션 모형

온실내의 직달일사 및 산란일사 투과율에 미치는 골조율과 동길이의 영향을 분석하는 데 사용된 컴퓨터 시뮬레이션의 기본 모형은 김과 이(1997)가 개발한 것이다. 컴퓨터 시뮬레이션 모형에 관한 사항은 김과 이(1997, 1998a, 1998b)의 연구 결과에 상세하게 제시되어 있는 바, 본고에서는 간략하게 설명하고자 한다.

온실내의 직달일사 및 산란일사 투과율을 해석하기 위한 컴퓨터 시뮬레이션 모형의 입력 변수로서 온실의 동수, 동길이, 지붕경사각, 측고, 유리의 두께 및 크기 뿐 만 아니라 구조재의 길이, 폭, 깊이 등이 사용된다. 이 가운데 수평 또는 수직 구조재의 길이와 폭이 골조율에 영향을 미치는 변수에 해당된다. 그런데 온실의 동길이, 측고, 지붕경사각이 주어지면 구조재의 길이가 종속되어 결정되므로 구조재의 폭을 달리하면 이에 따라 골조율이 변화된다.

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

Number of spans	1, 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

온실내의 직달일사 및 산란일사 투과율을 해석하기 위한 컴퓨터 시뮬레이션 모형에 구조재의 규격 또는 온실의 동길이를 다르게 입력하여 골조율과 동길이가 유리 온실내의 일사 투과율에 미치는 영향을 분석하였다. 구체적으로 단동 및 연동 유리온실을 대상으로 골조율의 변화가 산란일사 투과율에 미치는 영향을 분석하였다. 또한 동서동과 남북동의 단동 및 연동 유리온실에서 직달일사 투과율의 계절 변화에 미치는 골조율의 영향을 검토하였다. 이 때 온실은 전주((35°49' N, 127°09' E)에 설치된 것으로 가정하였다. 이 밖에 동서동과 남북동 연동온실의 길이가 직달일사 투과율에 미치는 영향을 분석하였다.

### 결과 및 고찰

#### 1. 온실의 골조율이 산란일사 및 직달일사 투과율에 미치는 영향

Fig. 1은 단동과 10연동 유리온실에서 골조율이 산란일사 투과율에 미치는 영향을 나타낸 것이다. 골조율의 증가에 따라 산란일사 투과율이 조금씩 감소하였으나, 산란일사 투과율에 미치는 골조율의 영향은 작게 나타났다. 골조율이 14.9%일 때 단동과 연동온실에서의 산란일사 투과율은 각각 60.7%, 61.0% 이었다. 구조재의 폭이 0.03m로서 골조율이 11.3%인 경우에 단동과 연동온실의 산란일사 투과율은 각각 63.0%, 62.7%로서 온실내로 투과된 산란일사의 증가가 단동 온실에서 2.3%, 연동 온실에서 1.7%로 나타났다. 그러므로 산란일사 투과율의 증가가 연동에 비해서 단동온실에서 조금 더 높게 나타남을 알 수 있다. 또한 구조재의 폭이 0.05m로서 골조율이 18.3%로 늘어난 경우에 단동과 연동온실의 산란일사 투과율은 58.6%로서 동일하게 나타났다. 따라서 골조율이 동일할 때 산란일사 투과율에 미치는 동수의 영향은 거의 없는 것으로 나타났다.

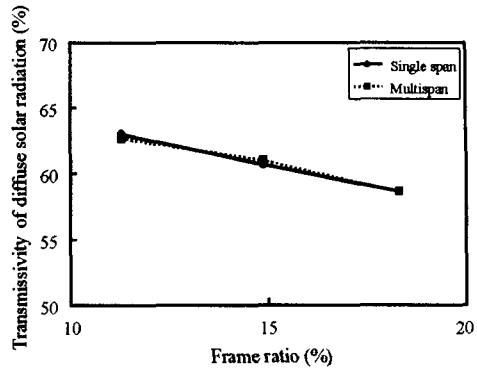


Fig. 1. Effect of frame ratio on the transmissivity of diffuse solar radiation in single and multispan glasshouse.

Fig. 2와 Fig. 3은 전주지역에 위치한 단동 유리온실에서 온실의 동방위가 각각 동서동과 남북동일 때 골조율의 변화가 직달일사 투과율에 미치는 영향을 나타낸 것이다. 동서동의 단동 온실에서 골조율이 각각 11.3%, 18.3%인 경우에 계절에 따른 직달일사 투과율의 변화 특성은 골조율이 14.9%인 경우와 거의 일치하는 것으로 나타났다. 즉 골조율이 작게 되면 직달일사 투과율은 증가하나, 반대로 골조율이 커지면 직달일사 투과율이 감소하는 특성이 일정한 형태로 나타났다. 구조재의 폭이 0.03m로서 골조율이 11.3%로 작은 경우에 직달일사 투과율은 14.9%인 경우에 비해서 전체적으로 1.6~2.6% 정도 높으며, 이러한 결과는 11월 하순부터 익년 2월 초순의 동계에서 높게 나타났다. 구조재의 폭이 0.05m로서 골조율이 18.3%일 때에는 14.9%인 경우에 비해서 직달일사 투과율이 1.5~2.5% 정도 낮게 나타났다. 결국 골조율이 각각 11.3%, 18.3%일 때 직달일사 투과율의 차이는 최대 5% 정도로 나타났다. 한편 남북동의 단동 온실에서 골조율의 증가 또는 감소가 직달일사 투과율에 미치는 효과는 동서동 온실에서의 경우와 유사하게 나타났다. 단 골조율에 따라 직달일사 투과율의 차이가 크게 나타나는 시기는 동서동의 경우 동계이었으나, 남북동에서는

4월~9월로 나타났다.

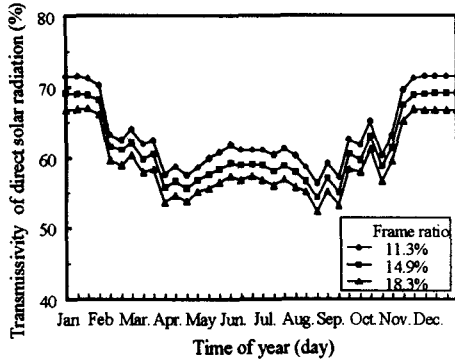


Fig. 2. Effect of frame ratio on the transmissivity of direct solar radiation in E-W single span glasshouse at Chonju.

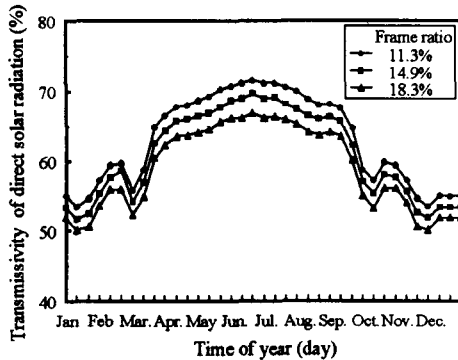


Fig. 3. Effect of frame ratio on the transmissivity of direct solar radiation in S-N single span glasshouse at Chonju.

Fig. 4와 Fig. 5는 전주지역에 위치한 10연동 유리온실에서 온실의 동방위가 각각 동서동과 남북동일 때 골조율의 변화가 직달일사 투과율에 미치는 영향을 나타낸 것이다. 골조율이 11.3%인 경우에 직달일사 투과율은 14.9%인 경우에 비해서 전체적으로 1.4~2.9% 정도 높으며, 이러한 결과는 단동의 경우보다 조금 크게 나타났다. 골조율이 18.3%일 때에는 14.9%인 경우에 비해서 직달일사 투과율이 1.4~2.9% 정도 낮게 나타났다. 그러므로 단동 또는 연동온실의 기본 골조율을 14.9%로

설정하였을 때 11.3%의 골조율에서 직달일사 투과율은 약 1.5~3.0% 증가하였으며, 골조율이 18.3%일 때에는 약 1.5~3.0% 낮게 나타났다. 이러한 직달일사 투과율의 차이가 동계에 온실내의 식물 생육에 미치는 영향이 크기 때문에, 온실을 설계할 때 구조물의 안전이 유지되는 범위 내에서 소형 및 가벼운 구조재를 사용하여 일사 투과를 극대화시키는 것이 바람직하다. 한편 남북동의 연동 온실에서 골조율의 증가 또는 감소가 직달일사 투과율에 미치는 효과는 동서동 온실에서의 경우와 유사하게 나타났다.

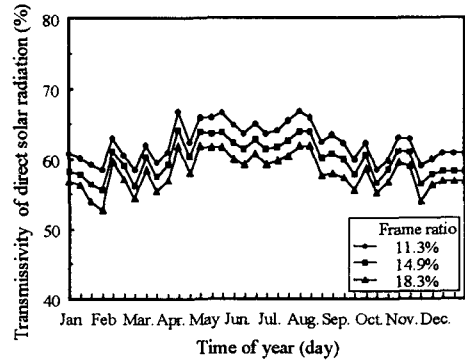


Fig. 4. Effect of frame ratio on the transmissivity of direct solar radiation in E-W multispans glasshouse at Chonju.

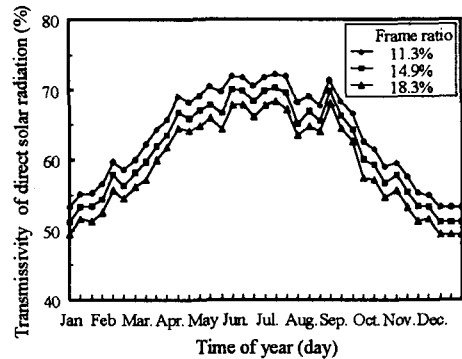


Fig. 5. Effect of frame ratio on the transmissivity of direct solar radiation in S-N multispans glasshouse at Chonju.

2. 온실의 동길이가 직달일사 투과율에 미치는 영향

온실의 동길이가 직달일사 투과율에 미치는 영향을 살펴보고자 온실의 동길이를 12.3m, 24.5m, 49m, 98m 로 설정하였으며, 온실의 폭은 일정한 것으로 가정하였다.

Fig. 6과 Fig. 7은 전주지역의 10연동 유리온실을 대상으로 컴퓨터 시뮬레이션에 의해서 분석된 결과를 나타낸 것이다. Fig. 6은 동서동 온실에서의 직달일사 투과율 6에 해당하는 것으로서, 온실의 동길이가 12.3m인 경우를 제외한 24.5m, 49m, 98m에서 직달일사 투과율에 미치는 동길이의 영향은 거의 없는 것으로 나타났다. 결국 동서동 연동온실의 동길이가 24.5m 이상인 경우에는 구조재에 의한 광 투과의 차단으로 직달일사 투과율이 저하됨을 알 수 있다. 이러한 결과는 11월 하순부터 익년 2월 초순 사이의 동계와 하지 전후로 한 하계에서 분명하게 나타났다.

Fig. 7은 남북동 온실에서의 직달일사 투과율에 해당된다. 동서동의 경우와 반대로 남북동에서는 동길이가 24.5m 이상일 때 동계와 하계의 직달일사 투과율이 높게 나타났다. 한편 온실의 동길이가 12.3m인 경우를 제외한 24.5m, 49m 및 98m에

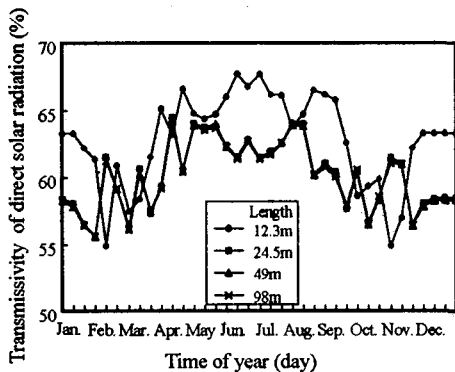


Fig. 6. Effect of greenhouse length on the transmissivity of daily direct solar radiation for the E-W multispan glasshouse at Chonju.

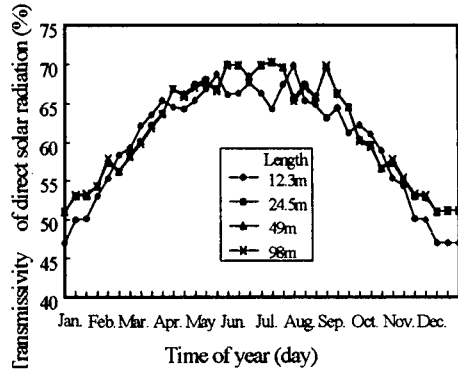


Fig. 7. Effect of greenhouse length on the transmissivity of daily direct solar radiation for the S-N multispan glasshouse at Chonju.

서 직달일사 투과율에 미치는 동길이의 영향은 거의 없는 것으로 나타났다.

Fig. 8은 동지에 동서동과 남북동 온실에서의 직달일사 투과율에 미치는 동길이의 영향을 비교하여 나타낸 것이다. 동길이가 24.5m 이상일 때 동서동에서의 직달일사 투과율이 남북동의 경우에 비해서 약 7% 정도 높게 나타났는데, 이 값은 일정하였다. 그러므로 동길이가 24.5m 이상일 때 직달일사 투과율에 미치는 동길이의 영향은 거의 없는 것으로 판단된다.

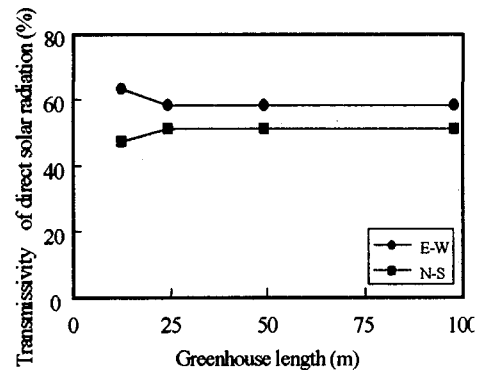


Fig. 8. Effect of greenhouse length on the transmissivity of daily direct solar radiation for the multispan glasshouse at Chonju on 22 December.

적 요

김과 이(1997, 1998a, 1998b)가 개발한 컴퓨터 시뮬레이션 모형을 이용하여 온실의 골조율과 동길이가 직달일사 및 산란일사 투과율에 미치는 영향을 분석한 결과를 요약하면 다음과 같다. 골조율의 증가에 따라 산란일사 투과율이 조금씩 감소하였으나, 산란일사 투과율에 미치는 골조율의 영향은 작게 나타났다. 동일한 골조율에서 산란일사 투과율에 미치는 동수의 영향은 거의 없는 것으로 나타났다. 단동 또는 연동온실의 기본 골조물을 14.9%로 설정하였을 때 11.3%의 골조율에서 직달일사 투과율은 약 1.5~3.0% 증가하였으며, 골조율이 18.3%일 때에는 1.5~3.0% 낮게 나타났다.

연동 온실에서 골조율의 증가 또는 감소가 직달일사 투과율에 미치는 효과는 동서동과 남북동 온실에서 유사하게 나타났다. 직달일사 투과율의 차이가 동계에 온실내의 식물 생육에 미치는 영향이 크기 때문에, 온실을 설계할 때 구조물의 안전이 유지되는 범위 내에서 내구력을 지닌 경량의 구조재를 사용하여 일사 투과를

극대화시키는 것이 바람직하다. 한편, 동길이가 24.5m 이상인 경우 동서동 또는 남북동에서 직달일사 투과율에 미치는 동길이의 영향은 거의 없는 것으로 나타났다.

인용문헌

1. 김용현, 이석건. 1997. 유리온실내의 직달일사 및 산란일사 해석을 위한 시뮬레이션 모형 - 동방위가 단동 온실내의 직달일사 투과율에 미치는 영향 -. 한국생물생산시설환경학회지 6(3) : 176-182.
2. 김용현, 이석건. 1998a. 연동 유리온실내의 직달 및 산란일사 투과율 해석. 한국농업기계학회지 23(5) : 439-444.
3. 김용현, 이석건. 1998b. 컴퓨터 시뮬레이션에 의한 온실내의 직달일사 및 산란일사의 투과율에 미치는 지붕경사각의 영향. 한국생물생산시설환경학회지 7(4) : 324-329.
4. 古在豊樹. 1974. 溫室の光透過に關する數値實驗(2). 農業氣象 29(4) : 239-247.
5. Mattson, R.H. and T.J. Maxwell. 1971. Studies of greenhouse orientation in a heliodon. HortSci. 6 : 209-210.