

## 컴퓨터 시뮬레이션에 의한 연동 유리온실내의 직달일사 및 산란일사 투과율에 미치는 지붕경사각의 영향<sup>1)</sup>

김용현\* · 이석건<sup>1</sup>

전북대학교 농업기계공학과, <sup>1</sup>경북대학교 농업토목공학과

### Effect of roof slope on the transmissivities of direct and diffuse solar radiation in multispan glasshouse by a computer simulation

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

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

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

### Abstract

Effect of roof slope on the transmissivities of direct and diffuse solar radiation using a computer simulation model developed by Kim and Lee(1997) was analyzed for 10-span glasshouse located in Seoul(37°34' N), Chonju(35°49' N) and Cheju(33°31' N). Transmissivities of diffuse solar radiation in glasshouse with roof slopes of 15, 20, 24.6, 30 and 35 degree were calculated as 61.3, 61.6, 61.7, 56.8 and 58.6%, respectively. Transmissivities of direct solar radiation(TDSR) during the period except summer season were highly affected by the roof slope. During the winter season, TDSR in glasshouse with roof slopes of 30 and 35 degree were higher than those with other roof slopes. Also, during the period except winter season, TDSR in glasshouse with roof slope of 20 degree were higher than those with other roof slopes. Difference in TDSR with latitude was significant during the period from October to February. At this period TDSR were highly appeared at lower latitude. Effect of roof slope on TDSR in S-N greenhouse was smaller than those in E-W greenhouse. It is considered that direct solar radiation highly transmitted in the glasshouse with roof slope of 20 degree.

주제어 : 온실, 일사 투과율, 지붕경사각, 컴퓨터 시뮬레이션 모형

Key words : Greenhouse, Transmissivity of solar radiation, Roof slope, Computer simulation model

\* Corresponding author

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

## 서론

온실의 지붕경사각은 환기량에 커다란 영향을 미치는 설계 인자일 뿐만 아니라 직달일사 및 산란일사의 투과율과 같은 광환경에도 영향을 미치는 요소에 해당된다. 국내에 보급되어 있는 유리온실은 네덜란드에서 수입된 베로형(Venlo type)과 베로형에 비해서 동고가 높으며 온실 한 동의 폭이 상대적으로 큰 광폭형(widespan type)이 대부분을 차지하고 있다. 베로형 온실의 측고는 3.5~4.0m이나, 한 동의 폭과 지붕경사면의 길이가 일정하기 때문에 온실의 지붕경사각은 대부분 22°를 나타낸다. 광폭형 온실에서 동고, 측고 또는 폭은 설계자에 따라 다르게 나타난다. 그러므로 광폭형 온실의 지붕경사각은 일정하지 않게 된다. 국내에 설치되어 있는 광폭형 온실의 지붕경사각은 대부분 25~27°로서 베로형에 비해서 다소 높은 값을 갖는다. 한편, 일부 화훼재배 농가에서는 환기량의 증대를 위해서 온실의 지붕경사각을 30°까지 증가시키기도 한다.

이제까지 온실내로 투과되는 일사량에 관한 연구 결과 가운데 온실의 지붕경사각이 산란일사 및 직달일사 투과율에 미치는 영향에 관한 보고는 많지 않다. Bowman(1970)은 천공일사가 균일하지 않는 것으로 가정하고 산란일사의 투과율에 미치는 지붕경사각의 영향을 이론적으로 분석한 결과와 아크릴판으로 제작된 단동의 모형 온실내에서 산란일사 투과율의 측정 결과를 비교 분석한 바 있다. Kozai 등(1978) 온실에서의 내부 반사를 무시하고 온실내의 일사량에 미치는 온실 형상의 효과를 제시하였다. 한편 온실의 동길이를 무한하게 긴 것으로 가정하고 온실 폭에 대한 측고의 비율, 지붕의 대칭성, 연동수, 천공 조건 등의 변화가 산란일사와 직달일사의 투과율에 미치는 영향은 Critten(1984)에 의해

서 시도되었다. 더구나 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, 국내에서 온실내의 광환경에 대한 설계 기준조차 정립되어 있지 않다.

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 온실의 동방위, 동고 및 측고, 구조물의 재원, 설치 지역의 위도, 지붕경사각 등이 유리 온실내의 직달 및 산란일사 투과율에 미치는 효과를 체계적으로 분석하고자 컴퓨터 시뮬레이션 모형을 개발하고 단동 유리온실의 동방위가 직달일사 투과율에 미치는 영향을 분석한 바 있다. 또한 김과 이(1998)는 개발된 컴퓨터 시뮬레이션에 의해서 연동 유리온실내의 직달일사 및 산란일사 투과율을 분석하고, 연동수가 직달일사 투과율에 미치는 효과를 제시하였다. 본 연구는 컴퓨터 시뮬레이션 모형을 이용하여 지붕경사각이 온실내의 직달일사 및 산란일사의 투과율에 미치는 영향을 구명하고자 시도되었다.

## 재료 및 방법

### 가. 온실내에서 직달 및 산란일사 투과율의 계산

반구의 형태로 이루어진 천공이  $m \times n$ 의 요소로 구분되는 것으로 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)은 다음 식으로 계산된다.

$$AD = \frac{\sum_{t=\text{sunrise}}^{\text{sunset}} \text{DRP}(t) \cdot T(I_t, J_t) \cdot \Delta t}{\sum_{t=\text{sunrise}}^{\text{sunset}} \text{DRP}(t) \cdot \Delta t} \quad (1)$$

식(1)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,  $\text{DRP}(t)$  : 임의의 시각  $t$ 에서 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 투과율은  $-A_t$ 에서의 투과율과 동일하다. 시물레이션 모형에 의해서 직달일사 투과율이 시간별로 계산되므로, 본 연구에서는 이것들을 적산하여 직달일사 투과율의 일평균치를 구하였다.

한편 등방성으로 가정된 천공에서 임의의 태양고도와 태양방위각에 따른 산란일사의 투과율은 다음 식으로 표시된다.

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

식(2)에서 대괄호안의 수식은 태양고도의 함수로 표시되는 산란일사 투과율의 보정계수에 해당된다(Kozai 등, 1978).

나. 지붕경사각의 설정

지붕경사각이 온실내의 직달일사 및 산란일사의 투과율에 미치는 영향을 구명하고자 김과 이(1997, 1998)가 개발한 컴퓨터 시물레이션 모형을 사용하였으며, 지붕경사각은  $15^\circ, 20^\circ, 24.6^\circ, 30^\circ, 35^\circ$ 로 설정하였다. 이 가운데  $24.6^\circ$ 의 경사각은 김과 이(1997, 1998)가 분석한 단동과 연동온실의 지붕경사각에 해당된다. 단동과 연동온실의 제원에서 지붕의 폭은 변하지 않는 것으로 가정할 때 지붕경사각에 대응하는 동폭과 동고는 Table 1과 같다. 이밖에 온실의 측고, 구조재의 폭과 깊이는 경사각  $24.6^\circ$ 에서의 그것과 동일하게 가정하였다.

Table 1. Widths and heights of span according to the different roof slope.

Roof slope (degree)	Width of span (m)	Height of span (m)	Width of roof (m)
15	4.25	2.77	2.2
20	4.13	2.95	2.2
24.6	4.0	3.12	2.2
30	3.81	3.3	2.2
35	3.6	3.46	2.2

다. 컴퓨터 시물레이션 모형의 검증

국내의 주요 지역, 즉 상이한 위도에서 지붕경사각이 온실내의 일사 투과에 미치는 영향을 살펴보고자 서울( $37^\circ 34' N, 126^\circ 58' E$ ), 전주( $35^\circ 49' N, 127^\circ 09' E$ ) 및 제주( $33^\circ 31' N, 126^\circ 32' E$ )의 3개 지역을 분석 지역으로 선정하였다. 본 연구에서 설정된  $15^\circ, 20^\circ, 24.6^\circ, 30^\circ, 35^\circ$ 의 지붕경사각을 갖는 10연동의 유리 온실내에서 직달일사 및 산란일사의 투과율을 실측하는 것은 간단치 않다. 그러므로 본 연구에서는 적용된 컴퓨터 시물레이션 모형의 검증을 위해 국내 주요 지역의 위도와 유사한 日本 東京( $35^\circ 41' N$ )을 대상으로 Kozai 등(1978)이 분석한 결과와 본 연구의 결과를 비교 분석하였다.

결과 및 고찰

가. 지붕경사각이 산란일사 투과율에 미치는 영향

지붕경사각에 따른 산란일사의 투과율 변화가 Fig. 1과 같이 나타났다.  $15^\circ, 20^\circ, 24.6^\circ$ 의 경사각에서는 산란일사 투과율이 각각 61.3, 61.6%, 61.7% 로서 거의 동일하게 나타났으나,  $30^\circ$  와  $35^\circ$ 에서는 56.8~58.6%로 나타났다. 이러한 결과로부터 지붕경사각이  $30^\circ$

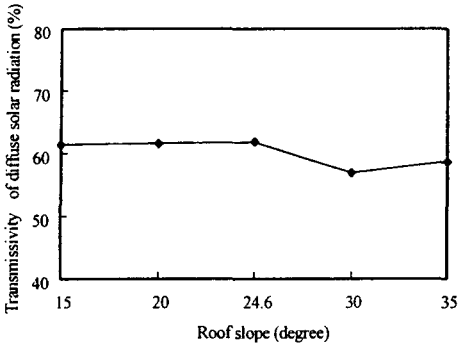


Fig 1. Transmissivity of diffuse solar radiation affected by the roof slope.

이상일 때 산란일사 투과율이 다소 감소하는 것으로 판단된다.

나. 지붕경사각이 직달 일사 투과율에 미치는 영향

국내의 서울, 전주 및 제주 지역에서 10연동 온실의 지붕경사각이 직달일사 투과율의 계절 변화에 미치는 영향을 검토하였다. Fig 2는 1월 1일부터 6월 30일 사이에 전주지역에서 지붕경사각에 따른 동서동 온실의 직달일사 투과율을 나타낸 것이다. 계절에 따른 직달일사 투과율의 변화가 대칭 형태를 이루는 것을 감안할 때, 동계(12월 초순~익년 1월 하순), 춘계(2월 중순~4월 초순) 및 추계(9월 하순~11월 초순)에 직달일사의 투과율은 지붕경사각의 영향을 크게 받는 것으로 나타났다. 이 가운데 동계에서는 30°, 35°의 지붕경사각에서 직달일사 투과율이 높게 나타났으나, 춘계와 추계에서는 20°의 지붕경사각에서 높게 나타났다. 한편, 하계(5월~8월)에서 직달일사의 투과율은 지붕경사각의 영향을 크게 받지 않는 것으로 나타났다. 상기 결과는 Kozai 등(1978)이 日本 東京(35°41' N)을 대상으로 분석한 내용과 유사한 것이다. 분석 대상 지역인 서울, 전주 및 제주의 위도가 동경의 위도와 큰 차이가 없음을 고려할 때 본

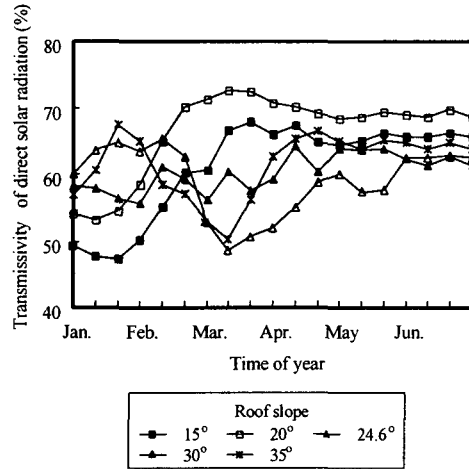


Fig 2. Seasonal variation of transmissivity of daily direct solar radiation for the E-W glasshouse with different roof slopes at Chonju(35°49'N).

연구에서 제시된 결과는 타당한 것으로 인정된다.

Fig. 3은 10연동의 동서동 온실에서 지붕경사각이 20°일 때 국내의 서울, 전주 및 제주 지역에서의 직달일사 투과율을 나타낸 것이다. 일정한 지붕경사각을 갖는 국내의 온실에서 위도에 따른 직달일사 투과율의 차이는 10월~익년 2월 사이에 나타났다. 이 시기에 제주와 서울에서 직달일사 투과율의 최대차는 8.5%로 나타났다. 한편, 3월~9월 사이에 일정한 지붕경사각을 나타내는 국내의 동서동 온실에서 위도에 따른 직달일사 투과율의 차이는 거의 전무한 것으로 나타났다. 이러한 결과는 해당 지역의 태양고도 변화에 기인된 것으로 판단된다. 즉, 태양고도가 높은 시기에는 위도에 따른 직달일사 투과율의 차이가 작게 나타나나, 태양고도가 낮은 시기에서는 직달일사 투과율에 미치는 위도의 차이가 상대적으로 크게 나타남을 의미하는 것이다. 그림 2와 그림 3으로부터 국내에서 동서동 연동온실의 직달일사 투과율에 미치는 지붕경사각의 영향은 위도보다 큰 것으로 판단된다. Fig. 4는 국내 주요 지역에서 계절에 따른

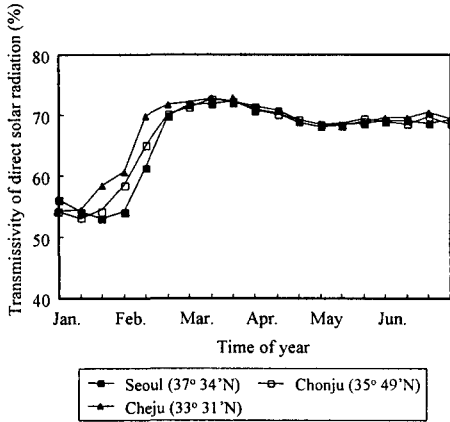


Fig 3. Seasonal variation of transmissivity of daily direct solar radiation for the E-W multispan glasshouse with different latitude.

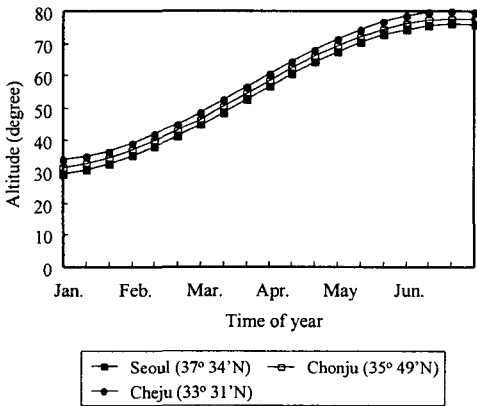


Fig 4. Seasonal variation of altitudes with different latitude.

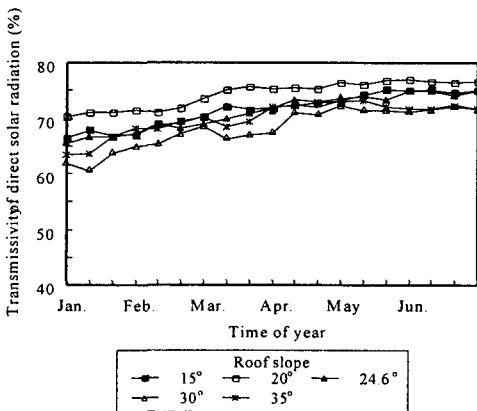


Fig 5. Seasonal variation of transmissivity of daily direct solar radiation for the S-N glasshouse with different roof slopes at Chonju(35°49'N).

태양고도의 변화를 나타낸 것으로서, 위도에 따라 태양고도의 차이가 나타났다. 동지 정오에 제주지역의 태양고도는 33.1°로서 전주와 서울지역에서의 태양고도 30.8°, 29°에 비해서 각각 2.3°, 4.1° 높게 나타났다.

Fig. 5는 1월 1일부터 6월 30일 사이에 전주지역에서 지붕경사각에 따른 남북동 온실의 직달일사 투과율을 나타낸 것이다. 남북동 온실에서 지붕경사각이 20°일 때 직달일사 투과율은 70~75%로서 가장 높게 나타났으나, 직달일사 투과율의 계절 변화에 미치는 지붕경사각의 영향은 동서동 온실에 비해서 상대적으로 높지 않은 것으로 나타났다. 전체적으로 하계에서의 직달일사 투과율이 동계에 비해서 높게 나타났다. 이러한 결과는 김과 이(1998)가 남북동 연동온실을 대상으로 분석한 결과와 일치한다.

이상의 시뮬레이션 결과를 고려할 때 국내에서 직달일사를 많이 확보할 수 있는 온실의 지붕경사각은 20°가 적합한 것으로 판단된다. 한편 동계에 동서동의 연동 온실에서 지붕경사각이 30~35°일 때 직달일사 투과율이 높게 나타났다. 일반적으로 지붕경사각이 커지면 온실의 동고가 높아지면서, 환기량은 증대한다. 그러므로 30° 이상의 지붕경사각을 갖는 온실을 설계할 때에는 환기량의 증대와 같은 긍정적인 효과와 동고의 증가에 따른 구조물의 안전 설계 또는 공사비의 증가 등과 같은 부정적인 효과를 종합적으로 검토하는 것이 바람직하다.

## 적 요

온실내의 일사 투과율을 해석하고자 김과 이(1997, 1998)가 개발한 컴퓨터 시뮬레이션 모형을 사용하여 지붕경사각이 온실내의 직달일사 및 산란일사 투과율에 미치는 영향을 분석하였다. 국내의 서울, 전주 및 제주 지역

의 10연동 유리온실을 대상으로 지붕경사각이 온실내의 직달일사 및 산란일사 투과율에 미치는 영향에 관한 결과를 요약하면 다음과 같다. 지붕경사각이 15°, 20°, 24.6° 일 때 산란일사 투과율은 61.3~61.7% 로서 거의 일정하였으나, 30°와 35°에서는 56.8~58.6% 로 다소 작게 나타났다. 동계(12월 초순~익년 1월 하순), 춘계(2월 중순~4월 초순) 및 추계(9월 하순~11월 초순)에 동서동 연동온실에서 직달일사 투과율은 지붕경사각의 영향을 크게 받으나, 하계(5월~8월)에서 직달일사 투과율은 지붕경사각의 영향을 크게 받지 않았다. 즉 동계의 경우 직달일사 투과율이 30°와 35°의 지붕경사각에서 높게 나타났으나, 춘계와 추계에서는 20°의 지붕경사각에서 높게 나타났다. 20°의 지붕경사각을 갖는 국내의 동서동 온실에서 위도에 따른 직달일사 투과율의 차이가 10월~익년 2월 사이에 나타났으며, 이 시기에 직달일사 투과율은 위도가 낮은 지역에서 높게 나타났다. 남북동 온실의 직달일사 투과율에 미치는 지붕경사각의 영향은 동서동 온실에 비해서 상대적으로 작게 나타났으나, 20°의 지붕경사각에서 직달일사 투과율이 가장 높게 나타났다. 그러므로 국내에서 직달일사를 많이 확보할 수 있는 온실의 지붕경사각은 20°인 것으로 판단된다. 한편 연동온실의 직달일사 투과율에 미치는 영향은 위도보다 지붕경사각에서 크게 나타났다.

## 인용문헌

1. 김용현, 이석건. 1998. 연동 유리온실내의 직달 및 산란일사 투과율 해석. 한국농업기계학회지 23(5) : 439-444.
2. 김용현, 이석건. 1997. 유리온실내의 직달일사 및 산란일사 해석을 위한 시뮬레이션 모형 - 동방위가 단동 온실내의 직달일사 투과율에 미치는 영향 -. 생물생산

시설환경 6(3) : 176-182.

3. Bowman, G.E. 1970. The transmission of diffuse light by a sloping roof. J. Agric. Engng. Res. 15 : 100-105.
4. Critten, D.L. 1984. The effect of geometric configuration on the light transmission of greenhouses. J. Agric. Engng Res. 29 : 199-206.
5. Kozai, T., J. Goudriaan, and M. Kimura. 1978. Light transmission and photosynthesis in greenhouse. Centre for Agricultural Publishing and Documentation, Wageningen, Netherlands, p. 30-35.