

연동온실 내 위치별 일사량에 따른 토마토의 생육 및 수량 비교

신현호¹ · 최만권² · 류희룡^{3*} · 조명환² · 김진현² · 서태철⁴ · 유인호⁵ · 김승유⁵ · 이충근⁴

¹농촌진흥청 국립원예특작과학원 시설원예연구소 전문연구원, ²농촌진흥청 국립원예특작과학원 시설원예연구소 농업연구사,
³농촌진흥청 연구정책국 연구성과관리과 농업연구사, ⁴농촌진흥청 국립원예특작과학원 시설원예연구소 농업연구관,
⁵농촌진흥청 국립원예특작과학원 채소과 농업연구관

Comparison of Tomato Growth and Yield according to Solar Radiation by Location in Multi-span Greenhouses

Hyun Ho Shin¹, Man Kwon Choi², Hee Ryong Ryu^{3*}, Myeong Whan Cho², Jin Hyun Kim²,
Tae Cheol Seo⁴, In Ho Yu⁵, Seung Yu Kim⁵, and Choung Kuen Lee⁴

¹RDA Research Associate, Protected Horticulture Research Institute, NIHHS, RDA, Haman 52054, Korea

²Researcher, Protected Horticulture Research Institute, NIHHS, RDA, Haman 52054, Korea

³Researcher, R&D Performance Evaluation & Management Division, Research Policy Bureau, RDA, Jeonju 54875, Korea

⁴Senior Researcher, Protected Horticulture Research Institute, NIHHS, RDA, Haman 52054, Korea

⁵Senior Researcher, Vegetable Research Division, NIHHS, RDA, Wanju 55365, Korea

Abstract. To examine the distribution of internal solar radiation within various locations in multi-span greenhouses, the solar radiation, light transmittance, and accumulated radiation at the central and lateral sections were analyzed by dividing 8:30 to 12:30 in the morning and 12:35 to 16:30 in the afternoon. The growth and yield of tomatoes within these sections were also compared. In the morning, the solar radiation of the central section and the side section was 275.2 W·m⁻² and 314.9 W·m⁻², while in the afternoon, it was 314.9 W·m⁻² and 313.9 W·m⁻², respectively. The light transmittance and accumulated radiation were also low, confirming the low distribution of solar radiation in the central (connecting) section of the multi-span greenhouses. The growth survey revealed no significant difference. The final yield of tomatoes per plant was 4,828 g in the central section and 4,851 g in the lateral section, but there was no significant difference in the central section compared to the lateral section by 0.5%. However, the amount of solar radiation as per time in the central section is higher than the light compensation point, 60 W·m⁻², and slightly lower than the light saturation point of tomatoes, i.e., 281 W·m⁻². The results of this study can help in greenhouse design based on the insolation environment.

Additional key words: greenhouse frame, light compensation point, light saturation point

서론

온실 내부로 유입되는 광은 작물의 동화산물 합성, 대사작용에 필요한 물질 생산 및 개화반응 등 생장에 필수요소로, 적합한 광 환경은 매우 중요하며 실내의 온·습도와 같은 미기후에 영향을 미치기도 한다(JGHA, 2007; Kim 등, 2000). 광이 고르지 못하면 광량 및 광주기에 따라 작물의 생육과 발육이 달라져(Wi 등, 2021), 생육이 불량해지고 수량이 감소할 수 있다. 광은 온도나 수분처럼 양적 요소로만 작용하지는 않으며 광질, 광도, 명암주기 등의 영향을 받는 환경 인자이며 작물

생산에 직접적인 영향을 미치므로 중요하다(Lee 등, 2010).

광 투과율은 온실의 설치방향에 따라 차이가 크며 우리나라와 같은 중위도 지역에서는 겨울철은 동서동, 여름철에는 남북동 온실의 광 투과율이 높은 편이다(Lee 등, 2010; NAAS, 2015). 위도가 30°보다 높은 지역은 남북동 온실이 동서동 온실보다 겨울철 일사량은 적지만 균일성은 더 높으며 봄에 태양의 고도가 증가할수록 차이는 감소한다(Castilla, 2013). 이처럼 광 투과율과 광 분포는 계절과 온실의 방향에 따라 상이하므로 설치 시에 고려해야 한다. 온실의 설치 방향에 따라서 투입되는 일사량과 바람의 방향이 달라지므로 내부의 광 환경과 온도환경이 달라질 수 있다(Choi 등, 2008). 입사각이 작을수록 광 투과율은 증가하고 투과율은 피복재의 재질이나 형성에 따라 다르며 피복재의 광 확산성이 좋으면 실내의 광 분포

*Corresponding author: baradori@korea.kr

Received October 7, 2022; Revised October 31, 2022;

Accepted October 31, 2022

는 고르게 분포한다(Nam 등, 2018).

한편 온실 내부의 광량은 피복재, 골조재 및 각종 장치들로 인해 생기는 그늘과 피복재의 입사각 차이로 생기는 부분적인 광량 감소로 위치에 따라 다르다(NIHHS, 2021; Son 등, 2021). 연동온실은 각동이 연결되는 곡부 아래에서 저광 영역대가 형성되며(NAAS, 2015), 흡통 및 지붕 경사도 등 구조의 영향으로 온실 내부에 그림자가 형성되어 광 분포가 균일하지 않다(Castilla, 2013). 연동온실 내부의 일누적 일사량 분포는 중앙이 높고 모서리 부분이 낮으며 남쪽이 북쪽보다 높고, 남북동 온실보다 동서동 온실에서 크게 나타난다(NAAS, 2015). 이와 같이 온실의 설치 방향, 피복재 및 동 형식에 따라 내부 광 환경이 달라져 작물 생육과 생산에 직접적인 영향을 미치므로 관련 연구들이 수행되었다. 차광에 의한 광 환경 변화(Lim 등, 2021)와 피복방식 및 필름별 광 투과성(Lee 등, 2013; Moon 등, 2020; Shin 등, 2009) 연구는 온실 전체의 광 분포가 아닌 특정 지점만 다루었고, Choi 등(2008)은 단동온실의 설치 방향에 따른 작물의 생육을 분석하였다. 또한 Lee 등(2014)과 같이 Ray-tracing 기법을 이용하여 연동온실 바닥면의 광도 분포를 시뮬레이션한 연구들은 있으나 실제 연동온실의 광 분포가 작물 생육에 미치는 영향을 분석한 연구는 미미한 실정이다.

온실을 설계할 때 기상재해에 의한 안전성도 중요하나 작물이 재배되는 내부환경을 고려하여 설계가 이루어져야 한다. 따라서 본 연구에서는 연동형 온실의 골조로 인한 내부 광 분포를 검토하기 위하여 위치별(중앙부 및 측면부) 일사량을 실측하였다. 그리고 오전(08:30 - 12:30)과 오후(12:35 - 16:30)로 시간대를 구분하여 일사량, 광 투과율 및 일 적산일사량을 분석하고, 토마토의 생육 및 수확량을 위치별로 비교하였다.

재료 및 방법

1. 실험온실 및 환경계측

실험온실은 경남 함안군에 위치한 2연동 플라스틱 온실로

토마토를 수경재배하고 있었으며 원예특작시설 내재해형 규격 설계도 및 시방서(MAFRA와 RDA, 2014)에 등록되어 있는 10-연동-1 형이었다. 온실의 규격은 길이 40m, 폭 8m, 측고 5.4m 및 동고 7.4m이며 설치 방향은 남북동이었다. 서까래(SPVHS, $\varnothing 59.9 \times 3.2t$) 간격은 3m이고 서까래 사이에 0.5m 간격으로 간살(SPVHS, $\varnothing 19.1 \times 1.2t$)이 배치되어 있었다. 피복재는 0.1mm 두께의 PO 필름으로 피복되었으며 다겹 보온커튼과 알루미늄 스크린은 각각 1층이나, 다겹 보온커튼은 온실 전후면과 측면에도 설치되어 있었다. 실험온실의 외부 및 내부 전경을 Fig. 1에 나타내었다.

환경계측을 위하여 일사량은 작물의 영향을 받지 않는 지면으로부터 3.8m 작물 캐노피 위치에 측정 파장 범위 300 - 1,100nm인 전천일사계(LightScout solar radiation sensor 3670I, Spectrum Tech. Inc., USA)를 중앙부와 측면부의 각 6개 지점, 온실 부근 외부에 1개 지점을 설치하여 총 13개 지점에서 2022년 2월 26일부터 4월 15일까지 5분 간격으로 계측하였다. 중앙부는 곡부의 아래 지점이고 측면부는 골조 및 커튼으로 인한 온실 내로 투입되는 일사량에 미치는 영향을 최소화하기 위하여 각 동의 끝으로부터 3.2m 떨어진 지점이었다. 또한 Fig. 1의 실내와 같이 다겹 보온커튼의 말리는 폭을 일정하게 유지하였다. 실내 온습도는 센서 내장형 온습도 데이터로거(WatchDog 1650 Data Logger, Spectrum Tech Inc., USA)를 지면으로부터 1.6m 높이에 설치하여 2021년 11월 1일부터 2022년 4월 15일까지 5분 간격으로 측정하였다. 센서 위치는 Fig. 2와 같다.

광 분포의 분석 시에는 Fig. 2의 중앙(Center)을 기준으로 종방향 9m, 18m, 27m 지점은 각각 온실의 북쪽, 중심부, 남쪽으로, 횡방향은 동쪽(-) 및 서쪽(+)으로 구분하여 -1.6m, -4.8m 지점은 동쪽, 1.6m, 4.8m 지점은 서쪽으로 계측 위치를 나타내었다. Nam 등(2018)은 연동온실의 연결부분은 투과성이 떨어진다고 하였고, NAAS(2015)는 연동온실의 곡부를 저광 영역으로 보고하였다. 이에 본 실험에서는 위치별(중앙부와 측면부), 태양의 남중고도 시간과 실험 기간의 일출 및 일



Fig. 1. Outside (A) and inside (B) views of an experimental greenhouse.

물시간을 고려한 시간대별 비교를 통하여 연동온실 내부의 일사량, 광 투과율, 일 적산일사량을 분석하였다. 시간대 구분은 08시 30분부터 12시 30분까지를 오전, 12시 35분부터 16시 30분까지를 오후로 구분하였다. 실측한 일사량은 차광하지 않은 날들만 선별하여 시간대에 따라 구분하고 위치별로 평균 및 적산하여 온실 내 광 분포 분석에 이용하였다.

2. 토마토 생육 및 수확량 조사

Fig. 2에서 보는 바와 같이 천전일사계를 설치한 부근에 토마토를 4주씩 선별하여 총 32주에 대하여 생육 및 수확량 조사를 수행하였다. 토마토 품종은 대프니스(*Solanum lycopersicum* L. 'Dafnis', Syngenta Korea)이고, 정식은 2021년 10월 28일, 철거는 2022년 4월 20일에 하였다. 생육 조사는 2022년 1월 4일부터 3월 31일까지 2주 간격으로 초장, 엽수, 화방수, 줄기 직경, 엽장, 엽폭 및 엽록소 함량(SPAD-502, Konica Minolta Inc., Japan)을 비파괴 조사 방법으로 7차례 실시하였고, 실험 종료일 4월 15일에는 파괴 조사하였다.

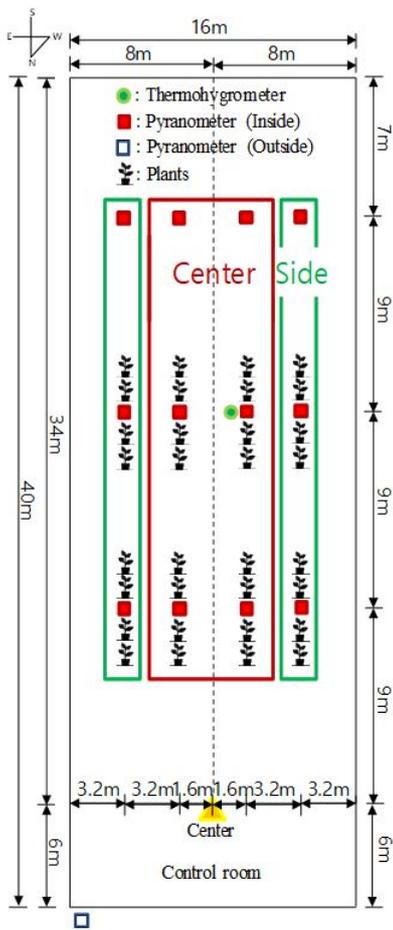


Fig. 2. Location of sensors and plants in the experimental greenhouse.

초장은 기저부에서 생장점까지 측정하였고, 엽수는 개화 화방 아래의 완전히 전개한 잎을 기준으로 조사하였다. 줄기 직경은 개화 화방을 기준으로 디지털 버니어캘리퍼스(CD-15CP, Mitutoyo Co., Ltd., Japan)를 이용하여 3, 4번째 화방 중간의 최대 직경을 측정하였고, 엽장과 엽폭은 개화 화방에서 3번째 해당하는 잎의 최대 길이 및 폭을 조사하였다. 수확량 조사는 2022년 1월 26일에 첫 번째 수확을 하였고, 약 1-2주간격으로 실험 종료일까지 11회 조사하였다. 수확한 토마토는 과중, 과수, 과경 및 과폭을 측정하였고, 과실의 과색이 80% 이상 붉게 착색되었을 때(red stage)를 기준으로 상시 수확하였다. 생육 및 수확량 조사 결과를 재배 위치별로 평균을 구하여 비교 분석하였다.

통계분석은 통계프로그램 SPSS Statistics 버전 27(IBM Corp., USA)을 이용하였고, t-test를 통하여 그룹별 평균값의 유의성을 분석하였다. 3D 맵핑(Mapping) 프로그램 Surfer 버전 12(Golden Software Inc., USA)를 이용하여 실험온실의 폭, 길이, 계측지점 및 분석한 수치를 입력하고 수치를 입력하지 않은 공간은 Kriging 보간법을 활용하여 온실 내부의 광 분포를 등온선으로 나타내었다.

결과 및 고찰

1. 온실 내 위치에 따른 시간대별 광 환경 비교

3월 중 외부 일 평균 일사량($612\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$)이 가장 높았던 2022년 3월 22일 하루의 온실 내 위치에 따른 시간대별 일사량, 광 투과율 및 일 적산일사량 분포를 등온선으로 표시하면 Fig. 3과 같다. 이날 외부 평균 일사량은 오전(A) $595.0\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ 이고 오후(B)는 $629.3\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ 로 오후에 $34.3\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ 높아져, 중앙부의 동쪽 동을 제외하고 일사량 분포(I)는 오전보다 오후에 높게 나타났다. 이는 다겹 보온커튼이 중앙부의 동쪽 동으로 걷히고, 오후의 태양이 서쪽에 있을 때 보온커튼에 의해 생기는 그림자의 영향으로 동쪽 동 일사량 변화가 거의 없는 것으로 판단하였다. 광 투과율(II) 및 일 적산일사량 분포(III)는 일사량 분포와 거의 유사하였다. 광 투과율의 시간대별 최고 및 최저는 오전일 때 최고 76%, 최저 56%이고, 오후일 때 최고 73%, 최저 54%로 나타났다. NAAS(2015)는 남북동 5연동 플라스틱 온실(07-자동화-1형)의 남부지역에 대한 봄철(3-5월)기간 투과율을 50.42%로 보고하였다.

오전일 때 중앙부의 일 적산일사량 분포(III) 범위는 $4.9 - 5.7\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}$, 측면부는 $5.3 - 6.6\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ 이고, 오후일 때 중앙부는 $4.9 - 5.9\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}$, 측면부는 $5.8 - 6.6\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ 로 나타났다. 한편 NAAS(2015)는 연동온실 내부의 일 누적일사량 분포는 중앙이 높고 구석이 낮으며 남쪽이 북쪽보다 높다고 보

고하여, 중앙부가 측면보다 낮고 동북쪽과 남서쪽 모서리 부분이 높은 본 실험 결과와 차이를 보였다. 그 이유는 실험온실은 2연동으로 동수가 적고 양쪽 측면에 설치된 커튼의 영향이 중앙부의 광 분포에 영향을 미친 것으로 판단된다.

Table 1은 중앙부와 측면부에 대한 일사량의 시간대별 평균, 표준편차, 최대편차 및 변이계수를 분석한 결과이다. 위치별 일사량은 모두 유의한($p < 0.01$) 차이가 있었고, 동일 시간대의 일사량은 중앙부가 측면부보다 오전 12.6%, 오후 11.4% 낮았다. 그 이유는 커튼과 곡부 물받이 홈통의 영향으로 중앙부가 측면부보다 일사량이 낮게 나타났다. 또한 동일 위치별(중앙부와 측면부)에서 오전과 오후의 일사량은 차이가 거의 없는데 이는 온실의 설치 방향이 남북 방향으로 그들이 시간 변화에 따라 이동했기 때문에 오전과 오후의 차이가 나타나지 않는 것으로 판단된다. 온실 내 일사량 분포의 균일성은 변이계수를 구하여 분석한 결과 오전은 중앙부, 오후는 측면부의 변이계수가 낮았으며, 변이계수가 낮으면 일사량 분포가 균일하다는 것을 의미한다.

Fig. 4와 Fig. 5는 시간대별 계측지점의 위치에 따라서 일사량의 종방향과 횡방향 변화를 그래프로 나타냈다. 온실의 종방향(북-남쪽) 일사량 분포는 Fig. 4에서 보는 바와 같이 오전은 중앙부가 측면부보다 지점별 15.1%, 8.8%, 10.1% 낮았고, 오후는 중앙부가 측면부보다 지점별 14.8%, 9.4%, 11.7% 낮아 시간대에 따른 위치별 일사량은 중앙부가 측면부보다 모두 낮게 나타났다. 이와 같은 이유는 중앙부는 온실의 곡부 영역으로 보온커튼 및 홈통, 중앙 기둥과 같은 골격재에 의한 차광 요인(Castilla, 2013; Lee 등, 2010)이 중앙부의 일사량 분포에 영향을 미치는 것으로 판단하였다. 위치별 오전의 일사량 분포는 북쪽과 남쪽이 비슷하게 높고, 중심이 가장 낮았으나, 오후에는 위치별 분포가 다르게 나타났다. 오후의 측면부 일사량 분포는 오전의 지점별 일사량 분포와 유사하였다. 중앙부는 북쪽에서 남쪽으로 증가하는 경향을 보였다.

온실의 횡방향(동-서쪽) 일사량 변화는 Fig. 5와 같으며 중앙부가 측면부보다 시간대별에서 모두 낮게 나타났다. 태양의 위치를 고려하여 오전은 동쪽, 오후는 서쪽의 측면부 일사

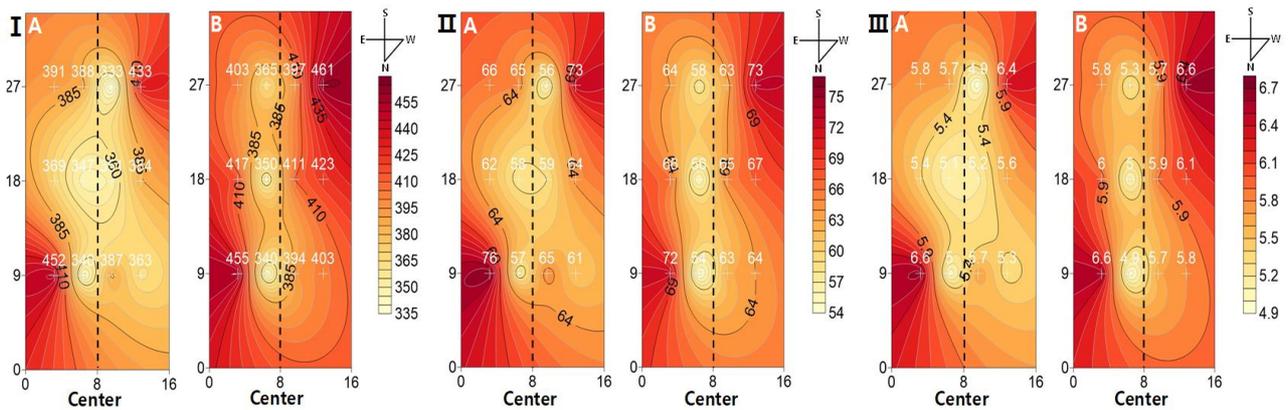


Fig. 3. Hourly variation (A) and (B) of solar radiation (I), light transmittance (II) and daily accumulated radiation (III) distribution in greenhouse on a sunny day (March 22, 2022). A, 08:30–12:30; B, 12:35–16:30.

Table 1. Comparison of solar radiation distribution of center and side in greenhouse.

Hourly variation	Category	Solar radiation distribution		Significance
		Center	Side	
08:30–12:30	Average ($W \cdot m^{-2}$)	275.2 ± 104.9^a	314.9 ± 127.3	*
	ΔS_{max} ($W \cdot m^{-2}$)	66.0	100.2	
	Coefficient of variation (%)	9.0	11.1	
12:35–16:30	Average ($W \cdot m^{-2}$)	278.1 ± 99.1	313.9 ± 111.0	*
	ΔS_{max} ($W \cdot m^{-2}$)	79.4	57.1	
	Coefficient of variation (%)	11.4	7.4	

^aMeans \pm standard deviation of average solar radiation.

*Significant at $p < 0.01$.

량을 기준으로 중앙부 일사량과 비교하였다. 중앙부 일사량은 측면부의 일사량보다 오전의 경우에 동쪽 지점은 14.3%, 서쪽 지점은 19.2% 낮고, 오후의 경우는 서쪽 지점은 3.1%, 동쪽 지점은 19.3% 낮게 나타났다. 중앙부 간 일사량을 비교하면 오전의 경우 서쪽 지점이 6.1%, 오후의 경우는 동쪽 지점이 16.7% 낮았다. 이는 다겹 보온커튼이 동쪽 동 중앙으로 걷히고, 오후의 태양이 서쪽에 있을 때 보온커튼에 의해 생기는 그림자의 영향으로 동쪽 지점의 일사량이 오전보다 낮아지고, 서쪽 지점은 서쪽에서 투입되는 일사량으로 인하여 측면부와

유사한 일사량을 보여 오후의 일사량 차이가 나타나는 것으로 판단하였다. 연동온실의 보온커튼 위치는 구조적으로 중앙 기둥 또는 측면에 설치되어 농가의 설치 위치와 크게 다르지 않으므로 개선의 필요성을 확인하였다.

일 적산일사량은 온실 내부에서 5분 간격으로 측정된 일사량을 위치에 따라서 시간대별로 적산하고 계측 일로 나누어 구하였다. Table 2는 일 누적일사량의 위치에 따른 시간대별 평균, 표준편차 및 최대편차이며 위치별 일 누적일사량은 유의한($p < 0.01$) 차이를 보였다. 중앙부가 측면부보다 오전에

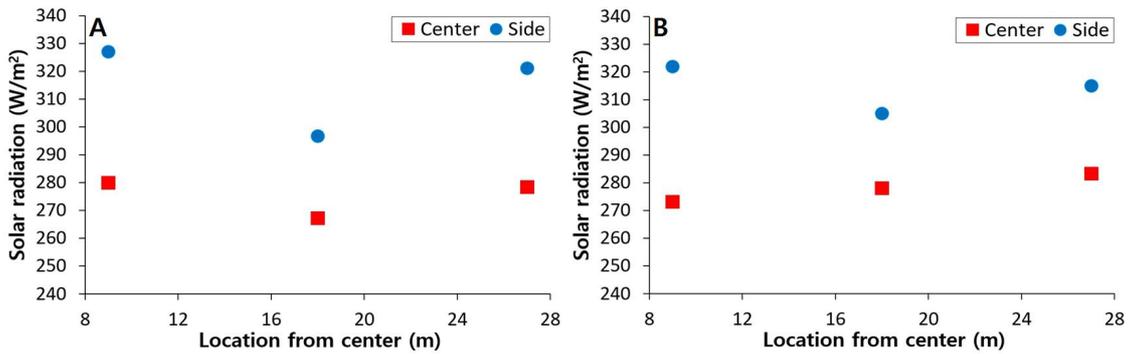


Fig. 4. Hourly variation of longitudinal solar radiation distribution in a greenhouse. A, 08:30-12:30; B, 12:35-16:30.

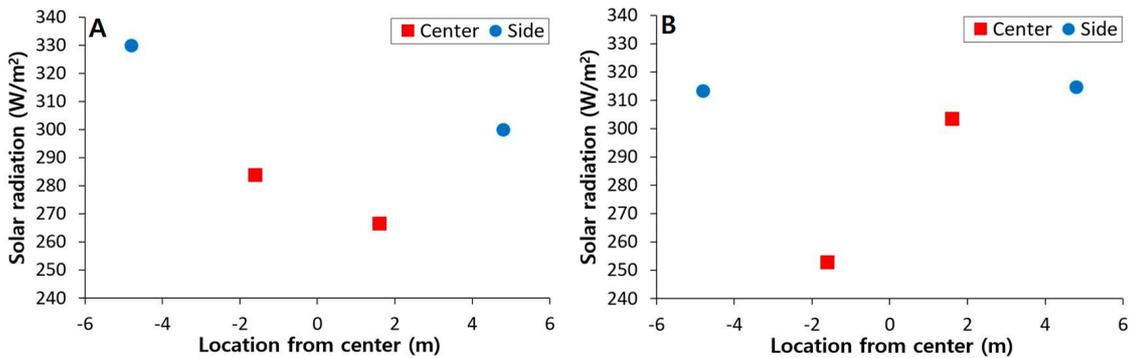


Fig. 5. Hourly variation of cross directional solar radiation distribution in a greenhouse. A, 08:30 – 12:30; B, 12:35 – 16:30.

Table 2. Comparison of daily accumulated radiation distribution of center and side in greenhouse.

Hourly variation	Category	Daily accumulated radiation distribution		Significance
		Center	Side	
08:30-12:30	Average ($\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}$)	4.0 ± 1.5^z	4.6 ± 1.9	*
	ΔS_{max} ($\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}$)	1.0	1.5	
12:35-16:30	Average ($\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}$)	4.0 ± 1.4	4.5 ± 1.6	*
	ΔS_{max} ($\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}$)	1.1	0.8	

^zMeans \pm standard deviation of daily accumulated radiation.

*Significant at $p < 0.01$.

는 $0.6\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}$, 오후에는 $0.5\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ 낮았다.

Fig. 6과 Fig. 7은 시간대별 계측지점 위치에 따라서 일 적산 일사량의 종방향과 횡방향 분포를 나타냈다. Fig. 6과 같이 종 방향의 시간대별 일 적산일사량은 중앙부가 측면부보다 모두 낮았다. 계측지점별로 오전은 14.4%, 9.9%, 13.3% 낮았고, 오후는 15.1%, 8.8%, 10.1% 낮게 나타났다. 오전의 최대 일 적산일사량은 측면부 북쪽지점 $4.8\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ 이고, 최저는 중앙 부의 중심지점 $3.9\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ 이다. 오후의 최대 일 적산일사량은 측면부 북쪽지점 $4.6\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ 이고, 최저는 중앙부의 북쪽지점 $3.9\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ 로 나타났다.

Fig. 7과 같이 시간대별 횡방향의 일 적산일사량은 중앙부 가 측면부보다 모두 낮게 나타났다. 오전의 최대 일 적산일사

량은 측면부 동쪽지점 $4.8\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ 이고, 최저는 중앙부의 서쪽 지점 $3.9\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ 이다. 오후의 최대 일 적산일사량은 측면부의 동쪽 및 서쪽지점 $4.5\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ 이고, 최저는 중앙부의 동쪽지점 $3.6\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ 로 나타났다.

2. 토마토 생육 및 수확량 비교

온실 내부의 온도는 월별로 일출 1시간 후부터 일몰 후 1시 간까지를 주간, 나머지 시간대는 야간으로 구분하고 평균을 구하여 토마토 정식 후부터 4월까지의 온도를 Table 3에 나타 내었다. 토마토 재배에 적합한 주간 온도 범위는 $21 - 29.5^{\circ}\text{C}$ 이고, 야간의 온도 범위는 $15.5 - 21^{\circ}\text{C}$ (RDA, 2020) 이므 로 재배기간 온도는 적정 수준으로 유지되었음을 확인하였다.

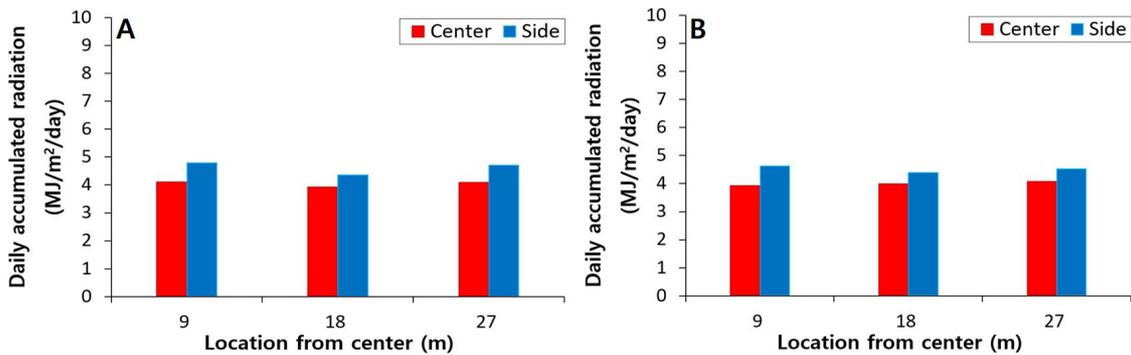


Fig. 6. Hourly variation of cross directional solar radiation distribution in a greenhouse. A, 08:30 – 12:30; B, 12:35 – 16:30.

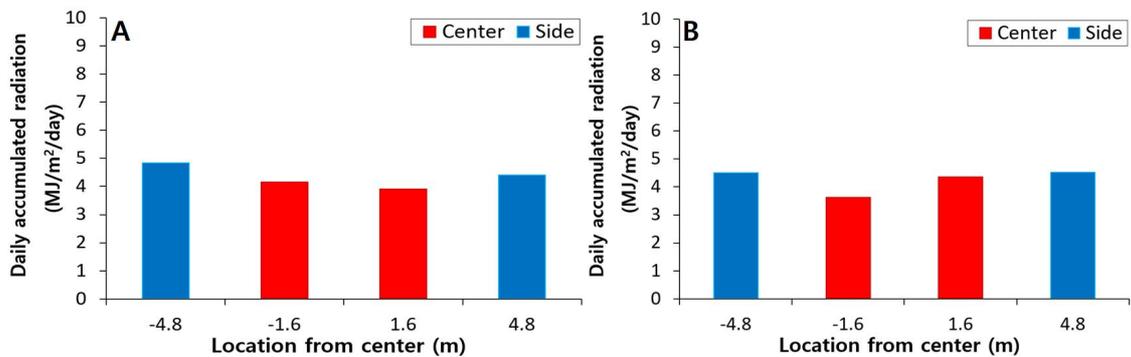


Fig. 7. Hourly variation of cross directional daily accumulated radiation distribution in a greenhouse. A, 08:30 – 12:30; B, 12:35 – 16:30.

Table 3. The monthly average temperature in the experimental greenhouse.

Category	Division	Month					
		Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.
Temp. ($^{\circ}\text{C}$)	Day	24.3 ± 5.8^z	21.2 ± 5.2	23.0 ± 4.1	24.3 ± 4.2	24.8 ± 4.1	26.6 ± 3.1
	Night	17.3 ± 3.5	15.3 ± 0.2	19.6 ± 1.2	19.4 ± 1.7	19.8 ± 1.7	20.1 ± 0.3

^zStandard deviation of average temperature.

Table 4는 토마토의 재배 위치에 따라서 중앙부와 측면부의 생육조사 결과를 조사일별로 정리한 것이다. 첫 번째 조사의 엽장과 엽폭을 제외하고는 실험 종료일까지 유의적인 차이는 나타나지 않았다. 초장은 정식 후 100일째까지는 유사하게 크다가 113일째부터 5cm 차이를 보였고 실험 종료일에는 측면부가 중앙부보다 8cm 더 컸다. 엽수, 경경, 엽록소 함량은 차이가 없었고, 엽폭, 엽장도 첫 번째 조사를 제외하면 유의한 차이를 보이지 않았다. 이를 통하여 중앙부와 측면부의 생육은 큰 차이가 없는 것을 확인하였다.

Fig. 8은 중앙부와 측면부에서 재배한 토마토의 1주당 평균 수확량을 수확 날짜별로 누적하여 나타내었다. 중앙부와 측면부의 날짜별 누적 수확량은 통계적으로 유의한 차이는 없었다. 정식 후 생육기간에 따른 1주당 평균 수확량을 분석한 결과 112일부터 중앙부의 토마토 수확량이 측면부의 토마토 수

확량보다 증가하였고, 161일에 269g으로 가장 큰 차이를 보였다. 정식 후 169일의 최종 1주당 평균 수확량은 중앙부 4,828g, 측면부 4,851g으로 23g의 차이를 보였고, 중앙부의 토마토 수확량이 0.5% 적게 나타났다(Table 5). Table 5는 중앙부와 측면부의 각 16주에 대한 토마토의 총 수확량 및 재식 밀도를 나타낸 것이다. 토마토의 총 수확량은 중앙부 77,253g, 측면부 77,618g으로 유의한 차이는 없었고 중앙부가 365g 낮았다. 중앙부의 일사량이 측면부에 비해 낮으나 수확량의 차이는 미미하였다. 한편 NIHHS(2021)의 연구결과에 따르면 작물은 광보상점 이하일 경우 생육이 저해되고 광포화점 이상일 경우에는 광도가 증가하여도 광합성률은 증가하지 않아 생육에 미치는 영향이 크지 않다고 보고하였다. 본 연구에서 분석한 중앙부의 시간대별 일사량은 오전 275.2W·m⁻², 오후 278.1W·m⁻²로 토마토의 광보상점 60W·m⁻²보다는 높고, 광

Table 4. Tomato growth status in greenhouse.

Days after planting (date)	Location	Plant height (cm)	Leaf width (cm)	Leaf length (cm)	Number of leaves	Stem diameter (mm)	SPAD value
69 (22.01.04.)	Center	169.9 ± 13.4	48.4 ± 4.7	39.9 ± 4.7	21.5 ± 1.6	16.3 ± 1.5	51.7 ± 5.6
	Side	168.5 ± 9.4	43.0 ± 5.4	35.5 ± 2.4	21.2 ± 1.3	16.5 ± 0.9	52.2 ± 3.6
	t-test ²	ns	**	*	ns	ns	ns
83 (22.01.18.)	Center	187.2 ± 10.4	42.5 ± 4.5	37.5 ± 2.9	23.5 ± 2.4	16.1 ± 1.0	52.9 ± 3.0
	Side	184.8 ± 9.5	42.3 ± 2.9	35.6 ± 3.1	24.1 ± 2.1	15.5 ± 1.3	52.8 ± 3.2
	t-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns
100 (22.02.04.)	Center	206.4 ± 12.2	41.3 ± 5.6	36.2 ± 3.0	24.6 ± 3.0	14.6 ± 0.9	53.6 ± 3.4
	Side	206.9 ± 9.7	38.7 ± 5.0	36.4 ± 4.0	25.6 ± 2.1	13.4 ± 1.8	53.5 ± 2.7
	t-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns
113 (22.02.17.)	Center	234.3 ± 15.0	35.7 ± 4.4	35.5 ± 2.6	31.6 ± 1.2	10.2 ± 1.5	53.1 ± 2.8
	Side	239.0 ± 11.2	34.3 ± 4.6	35.2 ± 3.0	32.1 ± 2.5	9.6 ± 1.2	53.2 ± 2.6
	t-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns
127 (22.03.03.)	Center	258.9 ± 16.2	33.5 ± 6.1	35.3 ± 3.8	35.0 ± 1.8	10.5 ± 1.2	53.6 ± 3.5
	Side	262.6 ± 13.3	35.5 ± 3.2	36.3 ± 2.7	36.1 ± 2.5	10.7 ± 1.1	53.5 ± 2.9
	t-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns
141 (22.03.17.)	Center	272.5 ± 14.7	30.2 ± 4.4	33.3 ± 3.6	38.3 ± 2.0	10.4 ± 1.6	54.4 ± 3.6
	Side	275.3 ± 14.2	33.5 ± 5.8	34.1 ± 3.6	38.6 ± 2.0	10.3 ± 1.0	54.6 ± 3.4
	t-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns
155 (22.03.31.)	Center	279.0 ± 14.5	31.1 ± 4.5	33.8 ± 4.3	39.4 ± 2.3	10.4 ± 1.8	55.6 ± 4.0
	Side	281.4 ± 16.1	33.5 ± 5.2	34.1 ± 2.7	38.9 ± 1.8	11.0 ± 1.4	56.1 ± 4.2
	t-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns
170 (22.04.15.)	Center	284.1 ± 16.6	29.5 ± 5.7	31.4 ± 3.6	41.2 ± 3.1	9.0 ± 1.6	56.6 ± 4.2
	Side	292.1 ± 20.8	29.7 ± 5.1	32.3 ± 4.0	42.9 ± 4.4	9.2 ± 2.1	57.5 ± 4.1
	t-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns

²ns,*,**Non significant or significant at $p < 0.05$, or 0.01, respectively.

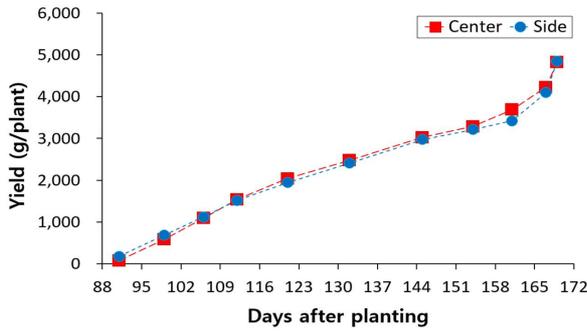


Fig. 8. Accumulated yield analysis for plant location in the experimental greenhouse.

Table 5. Yield analysis for plant location in experimental greenhouse.

Location	Total yield (g/16 plants)	Average yield (g/plant)	Planting density Row spacing (cm) × Plant spacing (cm)
Center	77,253	4,828	160 × 35
Side	77,618	4,851	

포화점 $281W \cdot m^{-2}$ 보다는 낮으나 그 차이가 크지 않아 생육 및 수확량 결과에 미치는 영향이 미미한 것으로 판단하였다 (Heuvelink, 2018; Wi 등, 2021).

적 요

본 연구에서는 연동온실의 골조로 인한 내부 광 분포를 검토하기 위하여 위치별(중앙부 및 측면부) 일사량을 실측하고, 오전(08:30 - 12:30)과 오후(12:35 - 16:30)로 시간대를 구분하여 일사량, 광 투과율 및 일 적산일사량을 분석하였다. 또한 토마토의 생육 및 수확량을 위치별로 비교하였다. 오전일 때 중앙부와 측면부의 일사량은 각각 $275.2W \cdot m^{-2}$, $314.9W \cdot m^{-2}$ 이고, 오후일 때는 각각 $278.1W \cdot m^{-2}$, $313.9W \cdot m^{-2}$ 로 측면부보다 중앙부가 오전은 12.6%, 오후는 11.4% 낮았고, 광 투과율과 일 적산일사량도 중앙부가 낮게 나타났다. 생육 특성에 있어서는 첫 번째 조사의 엽장과 엽폭을 제외하고는 조사 종료일까지 유의미한 차이가 없었다. 토마토의 최종 주당 평균 수확량은 재배 위치에 따라 중앙부 4,828g, 측면부 4,851g으로 유의미한 차이는 없었고, 중앙부가 0.5% 적게 나타났다. 토마토의 광보상점은 $60W \cdot m^{-2}$ 이고 광포화점은 $281W \cdot m^{-2}$ 로 중앙부의 시간대별 일사량은 광보상점보다는 높고, 광포화점 보다는 낮으나 그 차이가 크지 않아 온실 내 위치에 따른 생육 및 수확량의 차이가 미미한 것으로 판단하였다. 향후 이 검토 결과를 포함하여 온실을 설계할 때 광 환경을 고려한 설계를

위해 온실의 설치방향, 위치 및 지붕 경사도 등에 따른 온실 내 광 분포 분석이 필요하다.

추가 주제어 : 골조, 광포화점, 광보상점

사 사

본 연구는 농촌진흥청 연구사업(과제번호: PJ015063012022)의 지원에 의해 이루어진 것임.

Literature Cited

Castilla N. 2013, Greenhouse technology and management. CABI, Oxfordshire, UK, pp 32-37.

Choi Y.H., N.J. Kang, K.S. Park, H. Chun, M.W. Cho, S.Y. Lee, and Y.C. Um 2008, Effect of greenhouse orientation on the environment of greenhouse and the growth and yield of tomato and oriental melon. Hort Sci Technol 26:380-386. (in Korean)

Heuvelink E. (Ed.) 2018, Tomatoes. CABI, Boston, USA.

JGHA 2007, Handbook of protected horticulture, 5th ed. Japan Greenhouse Horticulture Association, Japan, pp 105-115.

Kim M.K., S.W. Nam, O.M. Seo, Y.C. Yoon, S.G. Lee, and H.W. Lee 2000, Agricultural structures engineering. Hyangmoonsa, Seoul, Korea, pp 146-149. (in Korean)

Lee H.W., Y.S. Kim, S.Y. Sim, J.W. Lee, and S. Diop 2013, Estimation of heat insulation and light transmission performance according to covering methods of plastic greenhouses. Protected Hort Plant Fac 22:270-278. (in Korean) doi:10.12791/KSBEC.2013.22.3.270

Lee J.W., J.H. Shin, J.H. Kim, H.W. Park, I.H. Yu, and J.E. Son 2014, Analysis of light environments in reclaimed land and estimation of spatial light distributions in greenhouse by 3-D model. Protected Hort Plant Fac 23:303-308. (in Korean) doi:10.12791/KSBEC.2014.23.4.303

Lee Y.B., H.J. Jeon, and J.E. Son 2010, Facility horticulture. Hyangmoonsa, Seoul, Korea, pp 98-115. (in Korean)

Lim M.Y., H.J. Jeong, M.Y. Roh, G.L. Choi, S.H. Kim, and S.H. Choi 2021, Changes in greenhouse temperature and solar radiation by fogging and shading during hydroponics in summer season. J Bio-Env Con 30:230-236. (in Korean) doi:10.12791/KSBEC.2021.30.3.230

MAFRA and RDA 2014, Design and construction code on horticultural and herbal facilities for disaster resistance. Ministry of Agriculture, Food Rural Affairs and Rural Development Administration, Sejong, Korea. (in Korean)

Moon J.P., S.H. Park, J.G. Kim, J.H. Lee, Y.K. Kang, M.Y. Lim, and H.M. Kim 2020, Yield increase and energy saving effect on plastic greenhouse covered with polyolefin film.

- Protected Hort Plant Fac 29:428-439. (in Korean) doi:10.12791/KSBEC.2020.29.4.428
- NAAS 2015, Design standards for greenhouse environment. National Academy of Agriculture Science, Wanju, Korea, pp 17-42. (in Korean)
- Nam S.W., Y.C. Yoon, H.W. Lee, I.B. Lee, H.T. Kim, J.W. Lee, and I.W. Seo 2018, Agricultural structures engineering new edition. Hyangmoonsa, Seoul, Korea, pp 154-156. (in Korean)
- NIHHS 2021, Greenhouse supplemental lighting technology. National Institute of Horticultural and Herbal Science, Wanju, Korea, pp 32-37. (in Korean)
- RDA 2020, Tomato. Rural Development Administration, Jeonju, Korea, pp 74-75. (in Korean)
- Shin Y.S., I.K. Yeon, J.E. Lee, J.D. Cheung, S.Y. Choi, and D.S. Chung 2009, Effect long period usage of polyolefin film on growth and fruit quality in Korea melon (*Cucumis melo* L. var. *makuwa* Makino). J Bio-Env Con 18:9-14. (in Korean)
- Son J.E., I.S. Kim, J.M. Choi, and J.M. Bae 2021, Greenhouse horticulture new edition. Hyangmoonsa, Seoul, Korea, pp 88-92. (in Korean)
- Wi S.H., K.H. Yeo, H.S. Choi, I.H. Yu, J.H. Lee, and H.J. Lee 2021, Effects of low air temperature and light Intensity on yield and quality of tomato at the early growth stage. J Bio-Env Con 30:448-454. (in Korean) doi:10.12791/KSBEC.2021.30.4.448