

하절기 주간 포그 냉방과 야간 히트펌프 냉방이 온실 환경 및 작물에 미치는 영향 분석

이태석^{1*} · 김진구¹ · 박석호² · 이충근²

¹농촌진흥청 국립원예특작과학원 시설원예연구소 농업연구사, ²농촌진흥청 국립원예특작과학원 시설원예연구소 농업연구관

Analysis of the Effect of Fog Cooling during Daytime and Heat Pump Cooling at Night on Greenhouse Environment and Planst in Summer

Taeseok Lee^{1*}, Jingu Kim¹, Seokho Park², and Choungkeun Lee²

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

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

Abstract. This study was conducted to analyze the effect of fog cooling during daytime and heatpump cooling at night in greenhouses in summer. During daytime, the average temp. and RH of the control greenhouse which had shading screen were 32.1°C and 59.4%. and the average temp. and RH of the test greenhouse which had fog cooling were 30.0°C and 74.3%. At this time, the average outside temp. and RH were 31.4°C and 57.7%. So, the temp. of the control was 0.7°C higher than outside temp., but the temp. of the test was 1.4°C lower than outside and 2.1°C lower than control. The average RH was 74.3% in the test and 59.4% in control. The average temp. and RH of the control greenhouse which had natural ventilation at night were 25.2°C and 85.1%, and the average temp. and RH of the test greenhouse which had heat pump cooling were 23.4°C, 82.4%. The average outside temp. and RH at night were 24.4°C and 88.2%. The temp. of the control was 0.8°C higher than outside temp., but the temp. of the test was 1.0°C lower than outside and 1.8°C lower than control. The average RH was 82.4% in test and 85.1% in control greenhouse. There was no significant difference between the plants growth eight weeks after planting. But after the cooling treatment, the values of stem diameter, plant height, chlorophyll in test were higher than control. The total yield was 81.3kg in test, 73.8kg in control, so yield of test was 10.2% higher than control. As a result of economic analysis, 142,166 won in profits occurred in control greenhouse, but 28,727 won in losses occurred in test greenhouse, indicating that cooling treatment was less economical.

Additional key words : humidity, hydroponics, temperature, tomato, yield

서 론

우리나라는 봄, 여름, 가을, 겨울 4계절의 구분이 뚜렷한 나라로 온실은 주로 겨울철 저온기 작물 재배에 초점이 맞춰져 있다. 온실의 이용률을 높이고 작기를 확대하여 생산성을 높이기 위해 고온기에도 작물을 재배하는 농가가 증가하고 있으나 여름철 기온이 높은 우리나라 기후 특성상 대부분의 농가들은 경제적인 부담, 작물 관리의 어려움으로 인해 여전히 고온기에 휴경하고 있다. 하절기 고온기(40°C 이상)에 시설재배 농가 중 21.6%가 휴경하고 있으며(Lee 등, 2014), 고온성 작물인 파프리카도 여름작형의 생산량은 겨울작형의 60%에

불과하다(Won 등, 2009). 여름철 온실 내 작물 재배를 위해서는 냉방이 필수적이며 일반적인 냉방 방법으로는 차광, 환기, 증발냉각, 부분냉방, 히트펌프, 지붕살수 등이 있다(Kim 등, 2001; Nam 등, 2005; Yu 등, 2002). 환기나 차광은 시설 내 온도가 33°C 전후일 때 효과가 있으며 40°C 이상의 고온에서는 Fan and Pad 시스템, Fog나 Mist 시스템 등 증발냉각법이 효과적인 것으로 알려져 있으나(Sethi와 Sharma, 2007) 국내에서는 적극적인 환기와 차광의 병행, 증발냉각법 외에는 대부분이 실용성이 높지 않다. 증발냉각법 중 포그 냉방시스템은 실용성, 경제성, 효율성 측면에서 가장 유리한 것으로 보고되고 있다(Abdel-Ghany와 Kozai, 2006; Lee와 Kim, 2011).

우리나라에서는 2009년부터 지열히트펌프시스템을 시설 원예 농가에 보급하기 시작하여, 지속적으로 보급면적을 늘여가고 있고 공기열히트펌프 사용 농가도 늘어나고 있다. 히

*Corresponding author: taeseok84@korea.kr

Received September 9, 2021; Revised October 6, 2021;

Accepted October 9, 2021

트펌프시스템은 초기투자비용이 높다는 단점이 있으나 투입되는 에너지에 비해 방출되는 에너지의 비율이 크기 때문에 에너지를 절약할 수 있다는 장점이 있으며, 1대의 장치로 난방과 냉방 모두 할 수 있다는 장점이 있다. 그러나 우리나라에서는 냉방부하가 난방부하보다 커 비용절감을 위해 난방부하에 맞추어 시스템을 설계하고 전술한 바와 같이 고온기에는 활용도가 낮다. 이러한 상황에서도 일부 고부가가치 작물을 시작으로 냉방이 작물의 고사를 방지하는 것을 넘어 고온 스트레스를 감소시킴으로써 생장을 촉진하고, 수확량을 증가시키기 위한 연구가 많이 이루어지고 있다(Yu 등, 2006; Nam, 2000; Kim 등, 2011).

본 연구에서는 하절기 ‘대프니스’ 토마토 재배 시 주간 포그 냉방, 야간 히트펌프 냉방 처리를 하여 작물의 생육 환경을 개선시키고 그로 인한 작물의 생육, 수확량의 변화를 비교하고 경제성을 분석하였다.

재료 및 방법

1. 시험온실 및 공시품종

시험은 경상남도 함안군 함안면 소재(35°13'57"북, 128°25'19"동, 표고 45m)의 벤로형 유리온실(폭 6.4m, 측고 5.3m, 동고 6.2m, 길이 36m) 2개동에서 수행하였다. 온실의 환기는 천창과 측창으로 하며, 천창은 온도제어가 가능한 반면, 측창은 수동으로 개폐할 수 있다. 차광장치는 차광률 50% 알루미늄 차광스크린이 5m 높이에 수평으로 설치되어 있었다. 두 온실 모두 6월 20일부터 7월 12일까지 주간에는 차광(10:00 - 16:00), 야간에는 측창 및 천창을 통한 자연환기로 온실의 환경을 관리하였고, 7월 13일부터는 시험구 온실만 주간 포그 냉방, 야간 히트펌프 냉방을 하였다. 본 연구에 사용된 토마토 품종은 ‘대프니스’이며, 온실 내 3줄로 설치된 베드에 육묘장에서 구입한 모종을 베드당 54주, 총 162주를 2021년 4월 14

일에 코코피트 배지에 정식하였다. 정식 후에는 농촌진흥청 표준 토마토재배법에 준하여 8월 18일까지 재배하였다(RDA, 2019).

2. 포그 노즐 및 히트펌프 냉방 시스템

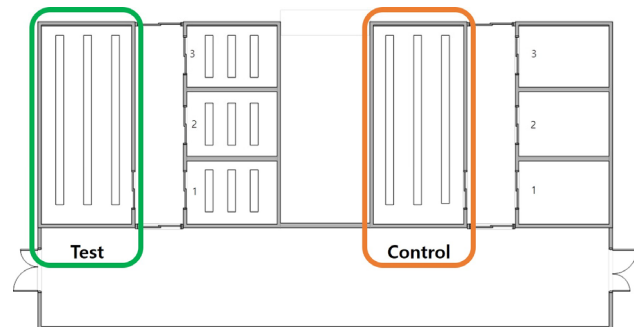
포그 시스템은 온실 내 중앙 4.8m 높이에 설치된 66개의 노즐(IW3010, Natural Fog, Taichung, Taiwan)과 펌프(NHD1215R, Hawk, Reggio Emilia, Italy)를 이용하여 온실 온도 30°C 이상, 습도 70% 이하일 때 작동되도록 하였으며 과습 방지를 위해 내부 습도가 75%가 되면 정지하도록 설정하였다. 야간 냉방은 난방능력 66.3kW, 냉방능력 52.8kW의 공기 대물 히트펌프(MHP-A0065-01, MTS, Gimhae, Korea)를 이용하여 축열조의 물을 12°C로 만들고, 만들어진 냉수를 12대의 FCU(ER-10, Erum, Siheung, Korea)로 보내어 냉기를 공급하는 방식으로 하였다. 야간 냉방은 천창 및 측창을 모두 닫고 오후 6시부터 다음 날 9시까지 타이머(45분 운전, 15분 정지)를 이용하여 수행하였다. 히트펌프의 에너지 사용량은 매일 오전 9시에 전날 사용 전력량을 확인하고 기록하였다.

3. 온실 온습도 측정 및 분석

포그 시스템의 온도 저감 효과를 비교하고자 주간 차광스크린을 이용하는 관행 방식 대조구 온실과 포그 시스템을 이용하는 시험구 온실의 주간 온도(오전 10시 - 오후 4시)를 측정하고 비교하였다. 온습도 데이터로거(HOBO U23-001, Onset Computer Corp., USA)는 온실을 길이 방향으로 3등분하여 각 구역 중앙 1.5m 높이에 설치하여 10분 간격으로 측정하였고, 측정기간은 정식 후부터 8월 18일까지이다. 야간에는 대조구 온실의 경우 측창을 모두 열어놓아 온실 내 온도 상승을 막고자 하였으며, 시험구 온실에서는 천창을 모두 닫은 상태에서 히트펌프로 냉방하여 온실 내 온습도 측정하였다. 데이터를 비교할 때 주, 야간 구분은 일출 시간과 일몰 시간



(a)



(b)

Fig. 1. Glass greenhouse picture (a) and floor plan (b) for experiments.

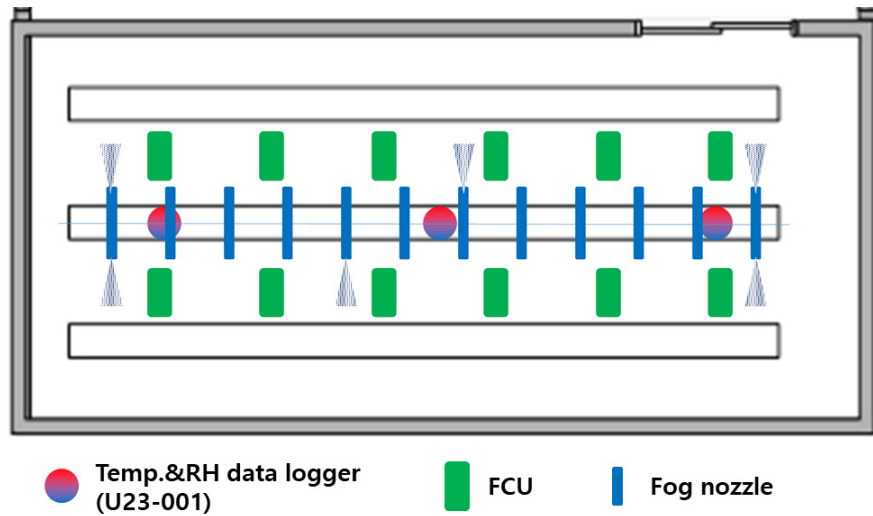


Fig. 2. The layout of FCU, fog nozzle and measuring sensors in a greenhouse.

을 기준으로 하였으며 일출 후 1시간 후부터 일몰 후 1시간 후)까지의 시간을 주간, 그 외의 시간을 야간으로 하였다.

4. 작물 생육 및 생산성 조사

작물의 생육 조사는 정식 후 8주 후, 16주 후에 초장, 경경, 엽장, 엽폭, 엽수, SPAD 값(엽록소 수치)를 측정하였으며 온실 내 베드 길이별로 앞, 중간, 뒤쪽의 2주씩을 대상으로 처리구별 총 18주씩을 조사하였다. 초장은 작물의 성장점부터 배지까지의 작물체 총 길이를 측정하였으며, 경경, 엽장, 엽폭은 작물의 성장점에서부터 7번째 아래 엽을 대상으로 1-2cm 밑의 줄기의 가장 굵은 굵기, 엽 전체의 세로 길이, 가장 넓은 엽의 폭을, 엽수는 성장점에서 작물 아래까지 총 엽의 개수를 측정하였다. SPAD 값은(SPAD-502Plus, KONICA MINOLTA, Tokyo, Japan)을 이용하여 작물의 성장점에서부터 7번째 아래 엽 중 3개의 잎을 골라 값을 측정하고 평균을 내었다. 생산성은 조사구를 대상으로 첫 수확을 했던 21년 6월 16일부터 1주일 간격으로 21년 8월 18일까지 수확 및 조사하여 대조구와 시험구의 수확량을 비교하였다. 수확량 변화와 함께 에너지 사용량을 고려하여 경제성을 분석하고자 하였으며, 이때 작물 판매시 발생하는 포장 자재 등의 기타 비용은 생략하였고, 토마토의 가격은 한국농수산식품유통공사(aT, 2021)에서 제공하는 월별 평년 도매가격을 참고하였다.

수집된 데이터의 통계분석은 R(Ver. 4.0.5, R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria)을 활용하였으

며, t-test($p < 0.01$)를 이용하여 두 처리 간의 평균값의 유의성을 검정하였다.

결과 및 고찰

1. 온실 내외부 온습도 비교

Table 1은 토마토 정식 후 5월부터 포그 및 히트펌프 냉방을 하기 전인 7월 12일까지의 온실 내외부의 주, 야간 평균 온습도를 나타낸 표이다. 5월 대조구의 평균 주간 온습도는 26.1°C, 53.6%, 야간 온습도는 17.7°C, 78.9%였으며, 시험구의 평균 주간 온습도는 26.4°C, 52.5%, 야간 온습도는 18.0°C, 77.6%로 모두 유의미한 차이가 없는 것으로 확인되어 온실 내 온습도 관리가 유사하게 되었음을 확인할 수 있었다. 6월과 7월의 두 온실의 주, 야간 평균 온습도도 6월 야간의 습도를 제외하고는 유의미한 차이가 없었고, 따라서 포그 및 히트펌프 처리 전까지는 두 온실의 온도 및 습도가 유사하게 관리되었음을 확인할 수 있었다.

Table 2는 주간 포그 냉방 및 야간 히트펌프 냉방 처리를 한 7월 13일부터 8월 18일까지의 온실 내외부 주, 야간 평균 온습도를 나타낸 표이며, 주간 데이터는 차광 및 포그 처리를 한 오전 10시부터 오후 4까지의 데이터, 야간 데이터는 냉방 처리를 한 오후 6시부터 다음 날 오전 9시까지의 데이터의 평균값이다. 시험구의 주간 평균 온습도는 30.0°C, 74.3%, 대조구의 주간 평균 온습도는 32.1°C, 59.4%였고, 이때 외부의 평균 온습도는 31.4°C, 57.7%였다. 대조구 온실의 평균 온도는 외기보다 0.7°C 높게 나타났으며 시험구 온실의 평균 온도가 대조구에 비해 2.1°C 낮은 것으로 나타나 포그에 의한 냉방 효과가 있

1) 월별 주간 시간 : 5월 6:30 - 20:00, 6월 6:20 - 20:30, 7, 8월 6:20 - 20:40

Table 1. The monthly average temperature and RH in experimental greenhouses and outside(without cooling in test greenhouse).

Monthly average temperature and relative humidity	May				June				July			
	Day		Night		Day		Night		Day		Night	
	Temp. (°C)	RH (%)	Temp. (°C)	RH (%)	Temp. (°C)	RH (%)	Temp. (°C)	RH (%)	Temp. (°C)	RH (%)	Temp. (°C)	RH (%)
Control greenhouse	26.1	53.6	17.7	78.9	27.0	59.6	19.9	84.9	28.0	74.0	23.4	92.6
Test greenhouse	26.4	52.5	18.0	77.6	26.6	60.6	20.0	83.1	27.4	75.8	23.3	91.5
significance	ns ^z	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns
Outside	21.7	64.0	16.2	86.1	25.0	63.7	19.2	88.7	26.7	77.3	23.1	93.8

^zns, *, **, ***: Non significant or significant at $p \leq 0.05, 0.01, 0.001$, respectively.

Table 2. The monthly average temperature and RH in experimental greenhouses and outside(with cooling in test greenhouse, Jul. 16th – Aug. 18th).

Monthly average temperature and relative humidity	Day		Night	
	Temp. (°C)	RH (%)	Temp. (°C)	RH (%)
Control greenhouse	32.1	59.4	25.2	85.1
Test greenhouse	30.0	74.3	23.4	82.4
significance	*** ^z	***	***	***
Outside	31.4	57.7	24.4	88.2

^zns, *, **, ***: Non significant or significant at $p \leq 0.05, 0.01, 0.001$, respectively.

는 것으로 확인되었다. 이는 오이 재배 온실에서 주간 포그 냉방 처리를 하여 시험구의 평균 온도(24.4°C)가 대조구(26.2°C)에 비해 1.8°C 낮게 나타난 Park 등(2020)의 연구 결과, 멜론 재배 온실에서 포그 및 차광의 효과를 확인하여 포그 처리 온실의 평균 온도가 외부에 비해 2°C 가량 낮았던 Lim 등(2021)의 연구 결과에 비추어 봤을 때 타당한 결과라고 판단된다. 주간 평균 습도는 시험구 온실에서 포그 처리를 함으로써 대조구 온실의 습도 59.4%에 비해 높은 74.3%로 나타났다.

야간의 시험구와 대조구의 평균 온습도를 살펴보면 시험구 23.4°C, 82.4%, 대조구 25.2°C, 85.1%였으며, 외부의 평균 온습도는 24.4°C, 88.2%였다. 야간 두 온실의 온도를 살펴보면 대조구 온실의 평균 온도는 외기보다 0.8°C 높았으며, 시험구 온실의 평균 온도는 대조구에 비해 1.8°C 낮게 나타나 주간과 경향이 유사하였다. 야간 평균 습도는 시험구 온실 82.4%, 대조구 온실 85.1%로 나타나 시험구 온실의 습도가 더 낮았으며 이는 히트펌프 냉방 시 FCU를 이용하여 온실 내부의 공기 순환을 지속적으로 만들어준 것이 그 원인이라고 판단된다.

RDA(2019)에 따르면 토마토의 정상적인 생장, 발달 그리고 과실 착과에 적합한 낮 온도의 범위는 21 – 29.5°C, 밤 온도의 범위는 15.5 – 21°C, 적정 습도는 65 – 80%이다. 이로 보아 시험구 온실의 온습도가 대조구에 비해 작물 재배에 더 적합했음을 알 수 있었다.

2. 주야간 냉방 처리가 작물 생육 및 생산성에 미치는 영향

Table 3는 시험구와 대조구 온실에 토마토를 정식하고 8주 후, 16주 후의 토마토 생육을 비교한 것이다. 정식하고 8주 후의 생육조사 결과를 비교해보면, 엽장은 대조구 온실에서 더 길게, 엽수는 시험구 온실에서 더 많이 나타났으며 그 외, 초장, 엽폭, SPAD 값은 두 온실 간의 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 이는 정식 후 냉방 처리를 하기 전까지는 같은 조건으로 재배했기 때문에 나타난 결과로 판단된다. 16주 후에는 경경, 초장, SPAD 값은 시험구에서 큰 값을 보였으며, 엽장은 대조구에서 더 긴 것으로, 엽폭과 엽수는 두 온실 간 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 냉방 처리 전 큰 차이가 없었던 경경, 초장, SPAD 값이 냉방 처리 후에는 시험구에서 더 크게 나타나 온실의 냉방 처리가 작물 생장에 더 적합한 환경을 만들어 주었고 그로 인해 작물 생육이 촉진되었다고 할 수 있다. 이러한 결과는 오이를 대상으로 주간에 포그를 분무하여 온실 내 온도를 저감시키고, 무처리에 비해 초장, 엽장, 엽폭, 엽수, SPAD 값이 전체적으로 높게 나타났던 Park 등(2020)의 연구 결과와 유사하다고 판단된다.

Table 4와 Fig. 3은 수확일별 수확량 및 누적 수확량을 나타낸 표와 그래프이다. 냉방 처리를 시작한 7월 21일의 두 온실의 총 수확량을 비교해보면 대조구 55.3kg, 시험구 55.0kg으로 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 냉방 처리 후 1주, 2주가 지났을 때도 총 수확량의 차는 2.9%, 1.2%로 큰 차이가 없었

Table 3. Growth parameters of tomato plants in test and control greenhouse.

Growth parameter	Green-house		8weeks later (2021.6.10.)		16weeks later (2021.8.5.)			
	Test	Control	Test	Control	Test	Control		
Plant height (cm)	Test	Control	161.6 ± 11.1	160.7 ± 8.2	295.2 ± 19.4	276.4 ± 17.5	ns ^z	**
	Control	Test	10.2 ± 2.0	10.5 ± 1.6	9.9 ± 1.1	8.9 ± 1.1	ns	**
Stem diameter (cm)	Test	Control	33.4 ± 4.8	37.3 ± 4.5	21.1 ± 2.8	25.4 ± 3.7	*	***
	Control	Test	27.4 ± 5.0	29.9 ± 5.6	20.7 ± 3.3	20.3 ± 3.0	ns	ns
Leaf length (cm)	Test	Control	28.9 ± 1.7	27.8 ± 0.9	48.8 ± 2.6	47.3 ± 1.8	*	ns
	Control	Test	62.8 ± 4.2	62.3 ± 3.6	57.6 ± 4.3	53.8 ± 3.4	ns	**

Note : Values are presented as the mean ± standard deviation (n = 18).

^zns, *, **, ***: Non significant or significant at $p \leq 0.05, 0.01, 0.001$, respectively.

Table 4. Growth parameters of tomato plants in test and control greenhouse.

Date	Control		Test		Differences of sum	
	Daily yields (kg)	Sum	Daily yields (kg)	Sum	(kg)	(%) (=(T-C)/C)
6.16.	10.1	10.1	8.7	8.7	-1.4	-13.9
6.23.	5.9	16.0	8.5	17.2	1.2	7.5
6.30.	5.4	21.4	7.0	24.2	2.8	13.1
7.7.	10.8	32.2	11.1	35.3	3.1	9.6
7.14.	12.5	44.7	8.1	43.4	-1.3	-2.9
7.21.	10.6	55.3	11.6	55.0	-0.3	-0.5
7.28.	4.0	59.3	6.0	61.0	1.7	2.9
8.4.	9.1	68.4	8.2	69.2	0.8	1.2
8.11.	3.8	72.2	7.4	76.6	4.4	6.1
8.18.	1.6	73.8	4.7	81.3	7.5	10.2

으며, 3주 후에는 냉방으로 인한 작물의 생육 환경 개선 효과가 나타나기 시작하여 시험구의 일 수확량(7.4kg)이, 대조구(3.8kg)에 비해 2배 가량 많았으며 총 수확량은 시험구가 대조구보다 6.1% 많았다. 4주 후 시험구의 일 수확량은 4.7kg으로, 대조구의 일 수확량 1.6kg보다 약 3배 가량 많았으며 총 수확량은 시험구가 대조구보다 10.2% 많게 나타났다. 따라서 하절기 주야간 냉방 처리가 작물의 생육 환경을 개선시키고 생육을 촉진시켜 수확량이 많아지게 할 수 있다고 판단된다. 이는 Rhee 등(2015)이 여름철 파프리카 재배 온실에서 포그 냉

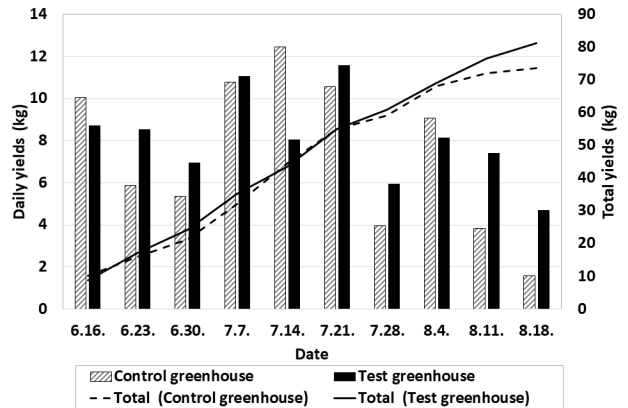


Fig. 3. Daily yields and total yields in each greenhouse.

방효과를 검토하여 포그 처리 시 온실 내 온도를 2-3°C 낮출 수 있었고 그로 인해 평균 과중 및 수확량이 증가한다고 했던 연구 결과, Park 등(2020)이 포그 분무하여 재배한 오이가 대조구에 비해 수확량이 1.8-2배 높게 나타났다고 한 연구 결과와 비교하였을 때 유의미한 결과라고 판단된다.

3. 수확량의 변화 및 에너지 사용량을 고려한 경제성 분석

Table 5는 대조구와 시험구 온실의 작물 판매에 따른 수입과 냉방 처리에 따른 에너지 사용량을 전기 요금으로 환산하여 비교한 것이다. 대조구 온실에서는 시험 기간 동안 총 73.8kg의 토마토를 수확하여 월별 평년 도매가격으로 판매했을 경우 142,166원의 수익이 발생하였고, 시험구 온실에서는 총 수확량 81.3kg으로 월별 평년 도매가격으로 판매했을 경우

Table 5. A Comparison of revenue and costs in each greenhouse.

		Average Monthly Price (10kg/won)	Yields (kg)	revenue (won)	energy consumption (kWh)	costs ²⁾ (won)	revenue-costs (won)
Jun	Control greenhouse	17,027	21.4	36,437	-		36,437
	Test greenhouse		24.2	41,204	-		41,204
Jul	Control greenhouse	19,119	37.9	72,463	-		72,463
	Test greenhouse		36.8	70,359	2,491.5	86,953	-16,594
Aug	Control greenhouse	22,942	14.5	33,266	-		33,266
	Test greenhouse		20.3	46,573	2,862.8	99,910	-53,337
Total	Control greenhouse		73.8	142,166	0	0	142,166
	Test greenhouse		81.3	158,136	5,354.3	186,863	-28,727

158,136원의 수익이 발생하여 대조구 온실보다 15,971원의 추가 수입이 발생한다. 냉방 처리에 따른 추가 비용을 계산해보면 시험구 온실에서 시험 기간 동안 총 5,354.3kWh의 전력을 소모하여 농사용 전력량(을, 고압) 요금을 기준으로 186,863원이다. 따라서 대조구 온실에서는 142,166원의 수익이 있었던 반면 시험구 온실에서는 28,727원의 손해가 발생하여 경제성이 떨어지는 것으로 나타났다. 그러나 본 시험에서 작물의 재식 밀도는 3.3m² 당 2.3주로 농업기술길잡이(RDA, 2019)에서 권장하는 재식 밀도(3.3m² 당 9주)에 비해 낮은 편이며, 밀식할수록 총 수확량이 늘어난다는 것을 고려했을 때 재식 밀도가 높아지면 지금보다 더 수익성이 높을 것으로 판단된다. 또한 작물의 출하 기간을 고려하여 히트펌프의 사용 시간 및 기간을 조절하고 에너지 사용은 줄이면서 생산성을 증가시킨다면 경제성도 확보할 수 있을 것으로 기대한다.

적 요

본 연구에서는 하절기 토마토 재배 시 주간 포그 냉방, 야간 히트펌프 냉방을 처리를 하여 냉방 처리가 온실 내 온습도, 작물의 생육 및 수확량에 미치는 영향을 분석하였다. 하절기 주간에 차광 처리한 대조구 온실의 평균 온습도는 32.1°C, 59.4%였고, 포그 처리한 시험구 온실의 평균 온도는 30.0°C, 74.3%로 나타났다. 이 때 외부의 평균 온습도는 31.4°C, 57.7%로 대조구 온실의 온도는 외기보다 0.7°C 높았으나 시험구 온실의 온도는 외기보다 1.4°C, 대조구보다 2.1°C 낮게 나타났다. 평균 습도는 시험구 온실 74.3%, 대조구 온실 59.4%로 포그 처리를 한 시험구에서 높게 나타났다. 야간 대조구 온실의 평균 온습도는 25.2°C, 85.1%였고, 히트펌프로 냉방을 한 시험구 온실의 평균 온습도는 23.4°C, 82.4%, 로 나

타났다. 야간 외부의 평균 온습도는 24.4°C, 88.2%로 대조구 온실의 온도는 외기보다 0.8°C 높았으나 시험구 온실의 온도는 외기보다 1.0°C, 대조구보다 1.8°C 낮게 나타났다. 평균 습도는 시험구 온실 82.4%, 대조구 온실 85.1%로 나타나 시험구 온실의 습도가 더 낮게 나타났다. 작물 생육은 정식하고 8주 후에는 두 온실 간의 큰 차이는 없는 것으로 나타났으나 냉방 처리 후에는 시험구 온실의 작물이 대조구에 비해 경경, 초장, SPAD 값이 높게 나타났다. 토마토의 수확량은 냉방을 시작하고 2주 후까지 총 생산량의 차이는 1.2%로 큰 차이 없었으나 3주 후와 4주 후의 일 생산량이 시험구에서 대조구보다 많게 나타났다. 최종적으로는 시험구의 수확량이 81.3kg, 대조구의 수확량이 73.8kg으로 시험구가 대조구에 비해 10.2% 많게 나타남으로써 하절기 주간 포그 냉방, 야간 히트펌프 냉방이 작물 성장에 적합한 환경을 조성해 줌으로써 생육 및 생산성에 영향을 미친 것으로 판단된다. 냉방 처리에 따른 경제성을 비교해보면 대조구 온실에서는 142,166원의 수익이 있었던 반면 시험구 온실에서는 28,727원의 손해가 발생하여 냉방 처리는 경제성이 떨어지는 것으로 나타났다. 그러나 재식 밀도, 히트펌프 운용 시간 및 기간을 조절하여 에너지 사용은 줄이면서 생산성을 증가시킨다면 경제성도 확보할 수 있을 것으로 기대되며 이에 대한 추가 연구가 필요할 것으로 판단된다.

추가 주제어 : 생산량, 수경 재배, 습도, 온도, 토마토

사 사

본 연구는 2021년도 농촌진흥청 연구사업(과제번호: PJ013603)의 지원에 의해 이루어진 것임.

2) 농사용 전력량(을, 고압) 요금 34.9원/kWh

Literature Cited

- Abdel-Ghany A.M., and T. Kozai 2006, Dynamic modeling of the environment in naturally ventilated, fog-cooled greenhouse. *Renew Energ* 31:1521-1539. doi:10.1016/j.renene.2005.07.013
- Kim K.D., E.H. Lee, W.B. Kim, J.G. Lee, D.L. Yoo, Y.S. Kwon, J.N. Lee, S.W. Jang, and S.C. Hong 2011, Effects of several cooling methods and cool water hose bed culture on growth and microclimate in summer season cultivation of narrowhead goldenray (*Ligularia stenocephala*). *J Bio-Env Con* 20:116-122. (in Korean)
- Kim M.K., G.S. Kim, and S.W. Nam 2001, Efficient application of greenhouse cooling system. Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries. pp 28-118. (in Korean)
- Korea Agro-Fisheries&Food Trade Corporation 2021, The average price of tomatoes. Available via <https://www.kamis.or.kr/customer/price/wholesale/item.do>
- Lee H.W., and Y.S. Kim 2011, Application of low pressure fogging system for commercial tomato greenhouse cooling. *J Bio-Env Con* 20:1-7. (in Korean)
- Lee S.Y., C.G. Lee, S.H. Euh, K.C. Oh, J.H. Oh, and D.H. Kim 2014, Dehumidification and temperature control for greenhouse using Lithium Bromide solution and cooling coil. *Protected Hort Plant Fac* 23:337-341. (in Korean) doi:10.12791/KSBEC.2014.23.4.337
- 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
- Nam S.W. 2000, Actual utilization and thermal environment of greenhouses according to several cooling methods during summer season. *J Bio-Env Con* 9:1-10. (in Korean)
- Nam S.W., K.S. Kim, and G.A. Giacomelli 2005, Improvement of cooling efficiency in greenhouse for system using the dehumidifier. *J Bio-Env Con* 14:29-37. (in Korean)
- Park S.H., J.P. Moon, J.K. Kim, and S.H. Kim 2020, Development of fog cooling control system and cooling effect in greenhouse. *Protected Hort Plant Fac* 29:265-276. (in Korean) doi:10.12791/KSBEC.2020.29.3.265
- Rhee H.C., G.L. Choi, K.H. Yeo, M.W. Cho, and I.W. Cho 2015, Effect of fog-cooling on the growth and yield of hydroponic paprika in grown summer season. *Protected Hort Plant Fac* 24:258-263. (in Korean) doi:10.12791/KSBEC.2015.24.3.258
- Rural Development Administration (RDA) 2019, Agricultural technology guide 106. Rural Development Administration, Korea, pp 38-39.
- Sethi V.P., and S.K. Sharma 2007, Survey of cooling technologies for worldwide agricultural greenhouse applications. *Sol Energy* 81:1447-1459. doi:10.1016/j.solener.2007.03.004
- Won J.H., B.C. Jeong, J.K. Kim, and S.J. Jeon 2009, Selection of suitable cultivars for the hydroponics of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) in the alpine area in summer. *J Bio-Env Con* 18:425-430. (in Korean)
- Yu I.H., M.K. Kim, H.J. Kwon, and S.S. Kim 2002, Development of CFD model for estimation of cooling effect of fog cooling system in greenhouse. *J Bio-Env Con* 11:93-100. (in Korean)
- Yu I.H., Y.I. Nam, T.Y. Kim, M.Y. Roh, and M.W. Cho 2006, Effect of newly developed fan and mist evaporative cooling system on greenhouse cooling and growth of cucumber. *J Bio-Env Con* 15:91-97. (in Korean)