

원적외선 난방시스템이 방울토마토 생육에 미치는 영향

김희준 리혁 강태환 념효봉 한충수 조성찬

Growth Characteristics of Cherry Tomato in Greenhouse using Far Infrared Heating Systems

H. J. Kim H. Li T. H. Kang X. F. Ning C. S. Han S. C. Cho

Abstract

This study was conducted to investigate the growth characteristics of cherry tomatoes in greenhouse using far infrared heating system. The far infrared greenhouse heating systems were installed in two ways on the greenhouse side wall and at the greenhouse ceiling. The heating characteristics of far infrared heating system were analyzed by investigating the heating load, internal temperature, energy consumption, growth characteristics and quality evaluation. The results were compared with heated air heating system using kerosene. The results showed that tomatoes grown in the greenhouse with the far infrared heating system had relatively better plant height, leaf length, leaf width, stem diameter than ones from the greenhouse with hot air heating system and both heating methods had no significant difference on Cherry tomato sugar contents. At the same time, the far infrared heating system reduced heating cost from 34.5 to 41.4% on comparing with hot air heating system.

Keywords : Far infrared heater, Greenhouse heating system, Energy consumption, Growth characteristics, Cherry tomato

1. 서론

현재 원예시설 난방시스템은 온풍난방이 주를 이루고 있으며, 사용 연료는 경유가 95% 이상을 차지하고 있기 때문에 시설재배 농가입장에서는 유가변동에 민감할 수밖에 없다. 또한 온풍난방은 공기 대류에 의한 난방으로 효율성이 낮고, 난방 면적이 넓은 관계로 하우스 내에 온도 분포차이가 심하여 작물 생육 불균일 문제로 고효율 대체 난방시스템 개발이 필요하다. 또한 화석연료를 사용하는 하우스의 난방시스템은 공해물질을 발생시켜 환경을 오염시키고 있어 이를 해결하기 위한 문제가 대두 되고 있는 실정이다(Li et al., 2005). 그러나 하우스 난방을 청정하게 하면서 에너지는 고효율로 이용할 수 있는 기술개발이 아직 미흡하기 때문에 에너지 손실과

농가 부담이 큰 상태이다. 이와 같은 문제를 해결하기 위하여 대체 에너지를 이용한 난방시스템의 연구가 진행 중에 있지만, 그 중에서 원적외선을 이용한 난방시스템의 연구는 미진한 상태이다. 심야전기와 농업용 전기를 병행한 원적외선 면상발열체 난방시스템은 면세 경유 난방(보일러 열효율 85% 경우)보다 연료비가 약 33% 절감(2005년 면세경유 51.63원/1000 kcal, 심야전기 44.19원/1000 kcal, 농사용(병)전기 41.97원/1000 kcal기준)되는 것으로 알려져 있다.

Jeong 등(2002)은 시설원예하우스 에너지절감 및 대체에너지 활용방안에서 상추의 경우 잎의 품질을 비교할 수 있는 지표로 엽생체중/엽수가 세카파 탄소원적외선 난방구에서는 0.97, 무처리구(전열열풍기)에서는 0.81로 처리구에서 약 120% 높게 나타났고, 최대엽의 엽장과 엽폭도 처리구에서 잎의

This study was conducted by the research grant of the Chungbuk National University in 2007. The article was submitted for publication on 2009-04-27, reviewed on 2009-05-25, and approved for publication by editorial board of KSAM on 2009-06-12. The author are Hee Jun Kim, Graduate Student, KSAM member, He Li, Graduate Student, Tae Hwann Kang, KSAM member, Agriculture Science & Technology Research Institute of Chungbuk National University, Xiao Feng Ning, Graduate Student, KSAM member, Chung Su Han, and Sung Chan Cho, Professor, Dept. of Biosystems Engineering, Chungbuk National University. Corresponding author: S. C. Cho, Professor, Dept. of Biosystems Engineering, Chungbuk National University, Cheongju, 361-763, Korea; Phone: 043-261-2584; Fax: 043-271-2580; E-mail: <sccho@chungbuk.ac.kr>.

두께나 면적을 기준으로 한 상추의 품질이 크게 개선된 것으로 보고하였다.

Han 등(2002, 2005)은 원적외선 면상발열체를 이용한 온실난방시스템 연구에서 방울토마토 및 들깨의 생육 및 수확 후 품질조사를 실시한 결과, 원적외선 복사난방이 온풍난방보다 생육 및 품질이 양호하다고 보고하였다.

Ro 등(2006)은 원적외선 면상발열체를 이용한 온실난방시스템 연구에서 원적외선 면상발열체를 이용하여 난방이 가능하고, 온풍난방보다 에너지 절감효과가 있다고 보고하였다. 또한 원적외선 면상발열체를 이용한 난방은 온풍 대류난방이 아닌 원적외선 복사에너지에 의한 난방으로서 열손실이 적고, 에너지 효율이 높아 생산 단가 절감이 가능할 것으로 판단하였다.

또한 원적외선은 복사에너지를 가열 매체 없이 직접 작물에 조사되므로 에너지 효율이 높고, 작물은 수분이 많이 함유되어 있어 원적외선 조사를 받으면 신진대사 촉진으로 생육이 활발해지고 품질이 향상되는 것으로 알려져 있다. 전기를 이용하는 원적외선 난방시스템은 온도조절이 용이하고 공기를 오염시키지 않을 뿐 아니라, 소음이 없기 때문에 대체 난방시스템으로 가능성이 높다고 Li 등(2005)의 연구에서 보고된 바 있다.

한편, 방울토마토의 원산지는 라틴아메리카 서부 고원지대로 미니토마토 혹은 체리토마토로 명명되고 있으며, 생육적 온은 25~27℃이고 10℃ 이하가 되면 생육이 어렵다. 따라서 원적외선 난방시스템의 난방성능을 연구하기 위해 겨울철에도 하우스 재배가 가능한 작물 중 방울토마토를 재배하여 원적외선 난방시스템의 난방가능성을 확인하였다.

본 연구에서는 복사에너지인 원적외선의 가열 메커니즘을 도입한 원적외선 하우스 난방시스템의 난방효과와 하우스 난방방식에 따른 방울토마토의 생육특성을 비교·분석하여 원적외선을 이용한 하우스 난방시스템 개발에 필요한 기초 자료를 제시하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

가. 공시재료

공시재료인 방울토마토 품종명은 꼬꼬이며, 파종 후 60일 묘목을 사용하였다. 이식 전 방울토마토의 초장, 엽수, 엽장, 엽폭, 경경(梗經)의 평균값은 각각 13.46 cm, 9매, 10.8 cm, 8.3 cm, 3.87 mm이었다.

나. 실험방법

그림 1은 하우스 난방별 평면도를 나타낸 것이다. 실험용 하우스의 형식은 연동 아치형으로서 난방방법별 하우스 면적은 48 m²로 동일하였다. 또한 원적외선 측면난방과 천정난

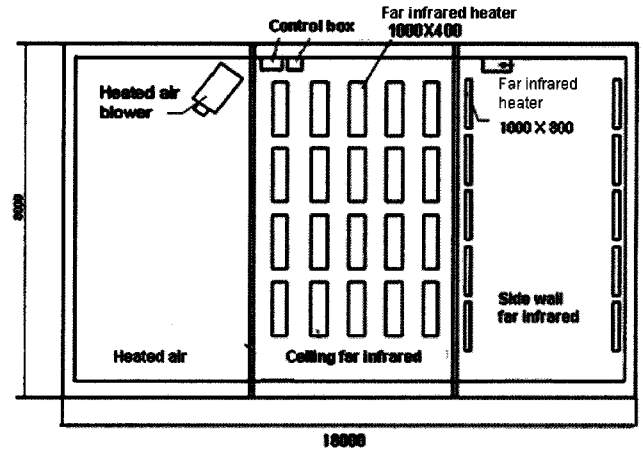


Fig. 1 Top view of greenhouse(unit: mm).

방에 사용한 원적외선 면상발열체의 총 전력용량도 7500 W로 동일하게 설정하였다.

그림 1에서 보는 바와 같이 원적외선 측면난방은 750 W 용량의 면상발열체 10매(1000 mm×800 mm)를 좌우측면에 각각 5매씩 수직으로 설치하였으며, 원적외선 천정난방은 350W 용량의 면상발열체를 4매씩 5열로 총 20매(1000 mm×800 mm)를 그림과 같이 천정에 설치하였다. 대조구인 온풍난방은 그림과 같이 등유온풍기(KEH-20, K.J.P, Korea)를 설치하였다.

생육 조건으로 외기온도, 실내온도, 원적외선 면상발열체로부터의 수직거리 온도변화를 측정하였다. 에너지 소비량은 원적외선 난방시스템의 소비전력량과 등유 온풍난방기의 소비전력량 및 등유 소비량을 측정하여 비교·분석하였다.

방울토마토의 생육 특성을 분석하기 위하여 정식 후 7일 간격으로 초장, 엽장·엽폭, 엽수, 경경을 측정하였고, 정식 후 54일부터 방울토마토의 개체중량, 당도, 1주당 수확량 등을 조사하였다.

다. 측정항목

1) 온도측정

온도측정은 각 하우스 내부의 상(1.5 m)·하부(0.5 m) 온도 및 면상발열체 거리별 온도분포를 측정하였고, 다점온도기록계(DA-100, Yokogawa, Japan)를 하우스별로 설치하여 열전대로 각각 11곳의 온도를 기록하였다. 각 하우스 내의 상대습도는 온습도계를 설치하여 측정하였다.

2) 생육조사

초장, 엽수, 엽장, 엽폭, 경경은 각각의 하우스별로 방울토마토 묘목 16주를 선정하여 정식 후 7일 간격으로 91일간 13회 측정하였다. 초장(草長)은 식물의 키를 말하며, 배지 표면으로부터 방울토마토의 최상 높이까지 측정하였다. 엽수(葉

數)는 방울토마토의 엽수를 세어 측정하였으며, 엽장(葉長)은 엽의 세로의 길이, 엽폭(葉幅)은 엽의 가로 길이, 경경(梗經)은 식물 줄기의 직경을 각각 측정하였다.

3) 품질평가

방울토마토의 주당수확량, 당도, 개체 중량은 각 하우스별로 정식 후 54일부터 96일까지 7일 간격으로 7회 측정하였다. 개체 중량은 방울토마토의 개당 중량을 전자저울(HF-200GD, AND, Japan)로 계량하여 측정하였다. 주당 수확량은 방울토마토의 총 수확량을 전자저울(HF-200GD, AND, Japan)로 계량한 후 총 식부수인 70주로 나누어 주당 수확량을 나타내었다. 방울토마토의 당도는 휴대용 당도계(N-1E, ATAGO, Japan)를 이용하여 측정하였다.

4) 난방비용

원적외선 면상발열체 및 온풍난방의 소비전력량은 소비전력계(PEW-15-120E, PSTEC Co., Korea)를 이용하여 측정하였다.

원적외선 난방비용은 2005년 2월 1일부터 2005년 3월 31일까지 2개월간의 소비전력량을 측정하였고, 농사용(병) 전기요금(36.1원/kWh) 체계에 따라 전력요금을 계산하였다. 등유 온풍난방 비용은 면세 등유(501원/L)의 총 사용량과 소비전력량을 전기요금으로 환산하였다. 난방비용은 다음 식 (1), (2)와 같이 계산하여 나타내었다.

$$S_F = E \times S_1 + P(kWh) \times S_2 \times S_3 \quad (1)$$

- where, S_F : Heating cost of far infrared heating system
- E : Electric power contract (30 kW)
- S_1 : Base rates (1,060 Won)
- P : Amount of electric power used
- S_2 : Farm electric power rates (36.1 Won/kWh)
- S_3 : Additional and local tax (1.14591 ㄱ-Won)

$$S_H = P_1 \times S_k(510 \text{ Won/L}) + S_2 \quad (2)$$

- where, S_H : Heating cost of heated air heating system
- P_1 : Amount of kerosene used
- S_k : Tax-free kerosene rates (510 Won/L)
- S_2 : Farm electric power(C) rates (36.1 Won/kWh)

3. 결과 및 고찰

가. 온도분포

하우스 실내온도는 난방 성능설계가 적당한가를 평가하기 위해 난방기간 중에 외기온도가 가장 낮은 날을 선택하여 측정하였다.

그림 2에 원적외선 난방시스템 설치구와 온풍 난방시스템 대조구에서 외기온도가 가장 낮았던 2005년 2월 20일부터 21일까지 측정한 실내온도 변화를 비교하여 나타내었다.

외기온도는 최고온도 -0.4°C, 최저온도 -9.8°C이었고, 하우스 내의 난방온도는 14°C로 설정하였다.

그림 2에서 보는 바와 같이 오후 5시 이후 등유 온풍난방의 경우 하우스 내부의 온도는 10~26°C로 변화폭이 매우 컸고, 원적외선 측면과 천정 난방시스템은 각각 12.7~14.8°C, 12.2~14.3°C 내외로 큰 편차 없이 내부온도가 유지되었다.

원적외선 난방시스템의 경우 천정난방과 측면난방의 경우 하우스 내의 0.5 m와 1.5 m인 지점의 온도 편차는 각각 0.8, 1.9°C, 등유 온풍난방의 경우는 3.5°C로 높게 나타났다. 이와 같이 등유 온풍난방시스템의 온도의 변화폭이 큰 이유는 온풍기가 정지할 경우 하우스의 보온성이 낮아 실내온도가 급강하 하게 되고, 온풍기가 가동할 경우 풍량이 많아 실내온도가 급상승 하기 때문이라 판단된다.

또한 온도변화가 클 경우 작물이 스트레스를 받기 때문에 작물생육에 부정적인 영향을 미치게 될 것으로 사료된다.

따라서 원적외선 난방시스템의 경우는 온풍 난방시스템의 단점인 온도편차를 최소화 할 수 있다는 측면에서 난방시스템으로서 매우 효과적인 것으로 판단된다.

한편, 그림 3은 하우스 천정 난방시스템에 설치된 원적외선 면상발열체로부터 수직거리변화에 따른 온도분포 특성을 나타낸 것이다.

그림 3에서 보는 바와 같이 수직거리별 온도는 원적외선 면상발열체부터 거리에 비례하여 온도가 낮아지는 경향을 나타내었고, 오후 5시부터 그 다음날 오전 9시의 경우 원적외선 면상발열체로부터 수직으로 20 cm인 지점의 실내온도는 14.8°C~18.0°C 40 cm인 지점은 13.6°C~17.7°C, 60 cm인 지점은 12.7°C~17.4°C, 80 cm인 지점은 12.3°C~17.4°C, 100 cm인 지점은 12.0°C~17.2°C이었고, 위치별 온도 편차는 3.2°C~4.8°C정

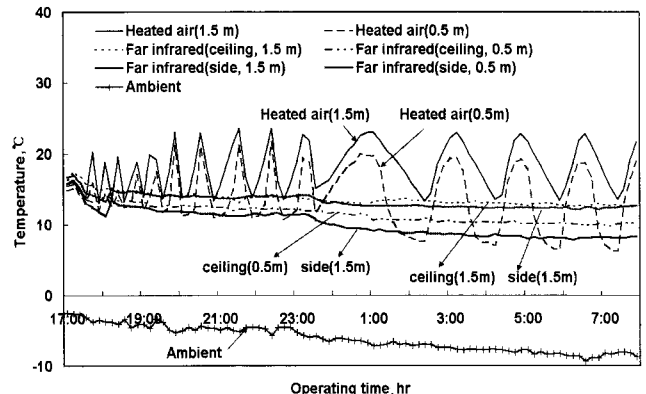


Fig. 2 Change of greenhouse inside temperatures according to heating methods.

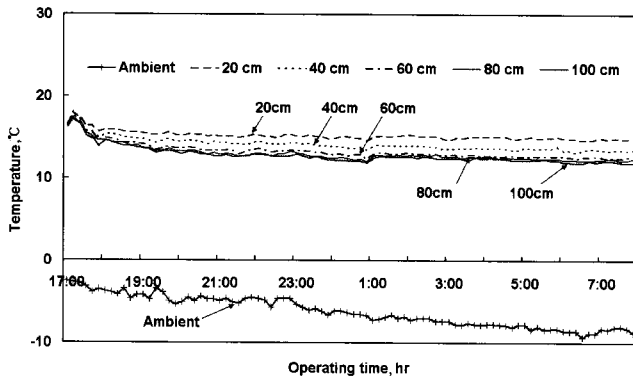


Fig. 3 Changes of greenhouse inside air temperatures according to distance from far infrared heater.

도이었다. 따라서 원적외선 난방시스템의 실내온도분포 편차가 작아 하우스 난방시스템으로 적합하다고 판단된다.

나. 방울토마토의 생육특성

표 1은 실험 작물인 방울토마토의 생육특성을 분석하여 나타낸 것이다.

표 1에 나타냈듯이 방울토마토의 생육상태를 조사한 결과, 원적외선 처리구의 생육특성이 온풍 난방보다 다소 양호한 것으로 나타났다.

초장은 정식 후 42일 경과한 원적외선 천정난방 한 것이

71.29 cm로 가장 컸고, 다음은 원적외선 측면난방 한 것이 63.26 cm, 등유 온풍난방 한 것이 59.99 cm로 가장 작게 나타났다. 엽수는 대개 19매로 난방간의 차이가 없는 것으로 나타났다. 엽장, 엽폭, 경경은 초장의 경우와 같이 원적외선 난방시스템이 등유 온풍난방보다 각각 2~5, 1~2.1, 0.5~1.1 cm 큰 것으로 나타났다.

정식 후 91일 경과한 방울토마토의 초장은 천정난방을 하는 경우가 135.54 cm로 가장 컸으며, 다음은 원적외선 측면난방이 129.17 cm, 등유 온풍난방이 123.39 cm로 작게 나타났다. 엽수는 대개 25~26매로 난방간의 차이가 없는 것으로 나타났다.

엽장, 엽폭, 경경은 초장의 경우와 같이 원적외선 난방시스템이 등유 온풍난방보다 큰 것으로 나타났으며, 생육특성 또한 온풍 난방시스템보다 양호한 것으로 나타났다. 이것은 원적외선 난방시스템이 온풍 난방시스템보다 내부온도 편차가 작고, 난방효과가 좋았기 때문이라고 판단된다.

다. 방울토마토의 품질평가

그림 4에 정식 후 54일부터 91일까지 수확한 방울토마토의 개체 중량을 비교·분석하였다.

그림 4에서 알 수 있듯이 정식 후 60일에 수확한 방울토마토의 개체중량은 원적외선 측면 난방시스템, 원적외선 천정 난방시스템, 등유 온풍 난방시스템이 각각 10.52, 9.70, 8.18 g/ea으

Table 1 The growth characteristics of cherry tomato according to greenhouse heating methods

Days after planting	Heating method	Plant height (cm)	No. of leaves (/plant)	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	Stem diameter (cm)
14	Far infrared (side)	20.69 ± 2.33	11 ± 0.89	12.40 ± 1.06	9.70 ± 0.88	0.467 ± 0.049
	Far infrared (ceiling)	22.92 ± 2.07	12 ± 1.08	12.32 ± 0.86	10.03 ± 0.83	0.471 ± 0.034
	Heated air	20.79 ± 2.27	12 ± 0.61	11.78 ± 0.76	9.42 ± 0.59	0.485 ± 0.028
28	Far infrared (side)	33.59 ± 6.62	13 ± 1.40	13.26 ± 2.04	9.98 ± 1.08	0.545 ± 0.067
	Far infrared (ceiling)	37.63 ± 3.01	15 ± 1.14	16.33 ± 1.03	10.11 ± 0.69	0.600 ± 0.042
	Heated air	32.05 ± 3.85	15 ± 1.28	12.64 ± 0.84	9.64 ± 0.74	0.543 ± 0.049
42	Far infrared (side)	63.26 ± 9.98	19 ± 1.55	19.60 ± 3.44	10.60 ± 1.41	0.732 ± 0.085
	Far infrared (ceiling)	71.29 ± 5.19	19 ± 1.12	22.70 ± 1.87	11.74 ± 0.65	0.774 ± 0.069
	Heated air	59.99 ± 8.05	19 ± 1.33	17.89 ± 3.29	9.66 ± 1.38	0.689 ± 0.085
56	Far infrared (side)	89.00 ± 8.39	22 ± 1.45	20.60 ± 2.24	12.07 ± 1.09	0.861 ± 0.101
	Far infrared (ceiling)	101.92 ± 6.11	22 ± 1.33	23.92 ± 1.84	12.91 ± 0.56	0.882 ± 0.086
	Heated air	90.50 ± 8.79	22 ± 1.88	20.31 ± 4.46	10.81 ± 1.15	0.848 ± 0.087
70	Far infrared (side)	96.29 ± 7.83	24 ± 1.61	28.05 ± 5.65	13.60 ± 2.78	1.019 ± 0.159
	Far infrared (ceiling)	111.00 ± 6.89	24 ± 1.32	29.68 ± 3.75	13.02 ± 4.02	0.965 ± 0.844
	Heated air	98.36 ± 8.63	23 ± 0.99	26.59 ± 3.98	12.29 ± 1.86	0.922 ± 1.098
91	Far infrared (side)	129.17 ± 8.23	26 ± 2.53	28.79 ± 5.99	15.59 ± 3.49	1.097 ± 0.200
	Far infrared (ceiling)	135.54 ± 6.59	26 ± 2.18	31.48 ± 3.48	16.29 ± 1.90	1.059 ± 0.101
	Heated air	123.39 ± 8.57	25 ± 2.40	28.99 ± 4.56	14.59 ± 2.41	0.965 ± 0.106

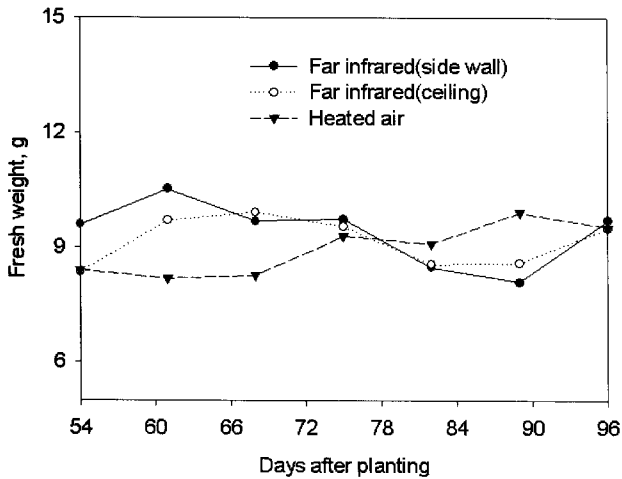


Fig. 4 Comparison of fresh weight of cherry tomato according to greenhouse heating methods.

로 나타나 초기에는 원적외선 난방시스템이 온풍 난방시스템보다 개체중량이 약간 무거운 것으로 나타났다. 평균 방울토마토 개체중량은 원적외선 측면난방이 9.21 g/ea로 가장 무거운 것으로 나타났으며, 등유 온풍난방이 8.64 g/ea로 가장 가벼운 것으로 나타났다.

생육기간별 난방방법에 따른 개체중량의 유의성을 분석한 결과, 정식 후 54일부터 78일까지는 P값이 0.023으로 유의성 ($P < 0.05$)이 인정되었지만, 정식 후 78일부터 96일까지는 유의성이 인정되지 않았다.

한편, 정식 후 84일 이후에는 개체중량이 가벼워지는 것으로 나타났고, 이것은 주당 방울토마토의 개체수가 증가하기 때문이라고 판단된다.

정식 54일 후 7일 간격으로 7회 수확하여 난방방법별로 주당 수확량을 그림 5에 나타내었다.

그림 5에서 보는 바와 같이 방울토마토의 정식 후 54일부

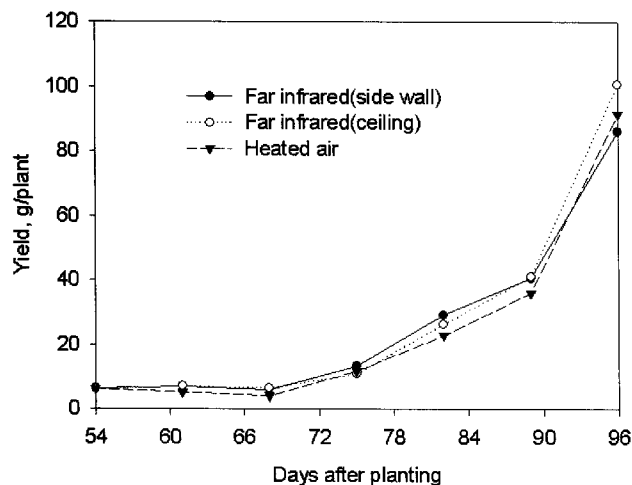


Fig. 5 Comparison of yield of cherry tomato according to greenhouse heating methods.

터 66일까지 원적외선 측면 및 천정 난방시스템과 등유 온풍 난방시스템의 주당 수확량은 각각 19.39, 19.71, 15.50 g/plant로 나타났다. 정식 후 72일부터 96일까지 원적외선 측면 및 천정 난방시스템과 등유 온풍 난방시스템의 주당 수확량은 각각 169.38, 178.87, 162.03 g/plant로 나타났다.

정식 후 96일까지 원적외선 천정난방이 두 난방조건보다 주당 수확량이 많았다. 원적외선난방의 경우 천정난방이 측면난방보다 주당 수확량이 많은 것으로 나타나 면상발열체 천정 설치방식이 측면 설치방식보다 원적외선 난방시스템 효과가 좋은 것으로 판단된다.

한편, 정식 후 방울토마토의 한 주당 총 생과 수확량은 측면 및 천정난방과 등유 온풍난방의 경우 각각 187.77, 198.58, 177.53 g/plant이었다.

원적외선 측면 및 천정 난방시스템과 등유 온풍 난방시스템의 주당 수확량 차이를 일원 배치 분산분석 방법으로 통계 분석한 결과, 검정통계량 P값이 0.984로 유의 수준 0.05보다 높아 유의성은 나타나지 않았지만, 원적외선 측면 및 천정난방이 등유 온풍난방에 비해 총 주당 수확량이 각각 5.76, 11.86% 많은 것으로 나타났다.

그림 6에서 알 수 있듯이 정식 후 54일에 수확한 방울토마토의 당도는 원적외선 측면난방, 천정난방 및 등유 온풍난방이 각각 9.40, 9.26, 9.06 °Brix로 나타났고, 정식 후 96일에 수확한 방울토마토의 당도는 원적외선 측면 및 천정난방, 등유 온풍난방이 각각 10.64, 11.00, 10.28 °Brix로 나타났다. 한편, 수확한 방울토마토의 평균당도는 원적외선 측면 및 천정난방과 등유 온풍난방이 각각 10.32, 10.16, 9.94 °Brix로 나타났다.

난방 방법별 방울토마토 당도의 유의성을 분석한 결과, P 값이 0.572로 유의수준 0.05보다 높아, 유의성이 없는 것으로 나타났다. 그러나 그림에서 나타냈듯이 원적외선 천정 및 측

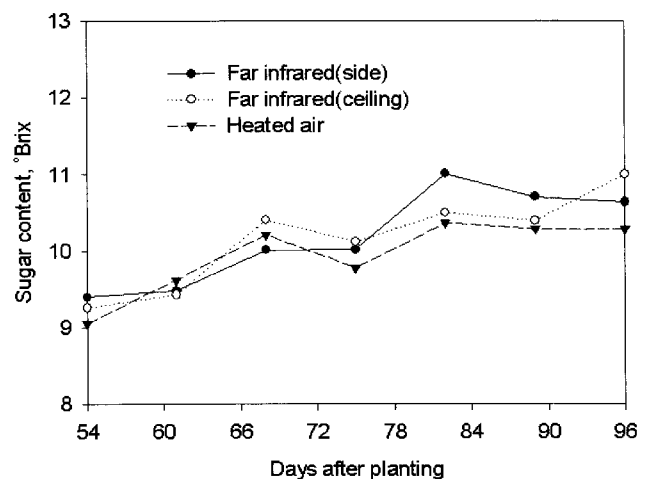


Fig. 6 Comparison of sugar contents of cherry tomato according to greenhouse heating method.

Table 2 Comparison of heating costs for greenhouse heating methods according to heating period

Heating Period	Heating Methods	Electric energy consumption (kWh)	Kerosene consumption (L)	Heating costs (Won)
Feb. 2~28, 2005	Far infrared (side)	1,560.4	-	96,349
	Far infrared (ceiling)	1,125.1	-	78,342
	Heated air	72.62	256	165,467
Mar. 1~31, 2005	Far infrared (side)	1,484.5	-	93,209
	Far infrared (ceiling)	1,435.5	-	91,182
	Heated air	52.9	176	124,084

* Greenhouse set temperature during night time: 14°C

면난방이 등유 온풍난방에 비해 당도가 약간 높은 경향을 나타내었다.

라. 난방비용 비교

실험기간 동안 원적외선 난방시스템과 온풍 난방시스템의 에너지소비량과 난방비용을 비교 분석한 결과를 표 2에 나타내었다.

표 2에서 보는 바와 같이 실험기간 동안의 원적외선 측면난방과 천정난방의 소비전력량은 각각 3,044.9 kWh, 2,670.6 kWh이었고, 등유 온풍난방의 등유 소비량과 소비전력량은 각각 432 L, 125.52 kWh이었다. 또한, 난방방법별 난방기간에 따른 소요 난방비는 원적외선 측면난방, 천정난방 및 등유 온풍난방에서 각각 189,558원, 169,524원, 289,551원으로 나타나, 원적외선 난방시스템이 등유 온풍 난방시스템에 비해 약 34.5~41.4% 정도 난방비용이 절감되는 것으로 나타났다.

4. 요약 및 결론

본 연구에서는 원적외선 면상발열체를 이용하여 방울토마토의 생육에 적합한 난방방법과 적정 난방조건을 제시하기 위하여 원적외선 난방시스템과 대조구인 등유 온풍 난방시스템에서의 하우스 내부 온도분포, 방울토마토의 생육특성, 품질 등을 평가하여 비교·분석하였고, 원적외선 면상발열체의 난방시스템 개발에 필요한 기초 자료를 제시하였다.

연구결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 원적외선 난방시스템에 따른 하우스 내부 온도분포는 등유 온풍 난방시스템 보다 상·하 온도편차가 작은 것으로 나타났다. 원적외선 난방시스템의 경우 천정난방이 측면난방보다 비교적 온도 분포가 균일한 것으로 나타났다.
- (2) 방울토마토 생육특성은 원적외선 난방시스템이 등유 온풍 난방시스템보다 초장, 엽장, 엽폭, 경경 등이 양호

- 한 것으로 나타났고, 원적외선 난방시스템의 경우 천정난방이 측면난방보다 생육이 양호한 것으로 나타났다.
- (3) 방울토마토의 당도는 원적외선 난방시스템과 등유 온풍 난방시스템 간에 큰 차이가 없는 것으로 나타났지만, 원적외선 난방시스템이 등유 온풍 난방시스템보다 약간 높은 경향을 나타내었다.
 - (4) 방울토마토의 주당 수확량과 개체중량은 원적외선 난방시스템이 등유 온풍 난방시스템보다 양호한 것으로 나타났다.
 - (5) 난방비용은 원적외선 난방시스템이 등유 온풍 난방시스템에 비해 약 34.5~41.4% 정도 감소되는 것으로 나타났다.

참고 문헌

1. Han, C. S., S. C. Cho, H. C. Lee and T. H. Kang. 2002. A study on the evaluation for technological capability and feasibility of greenhouse using cecapa far infrared heater. Korea Institute of Industrial Technology, Cheongju, Korea. (In Korean)
2. Han, C. S., S. C. Cho, H. Li and H. J. Kim. 2005. High quality vegetable production and energy efficiency greenhouse heating system development using panel far infrared heater. Chungbuk National University, Cheongju, Korea. (In Korean)
3. Jeong, J. S., B. S. Seo, H. G. Jang and J. B. Park. 2002. A Study on saving and alternative energy for greenhouse, Jeollanam-do, Korea, pp. 61-68. (In Korean)
4. Li, H, H. J. Kim, C. S. Han, S. C. Cho, J. G. Ro, J. M. Choi and H. J. Kim. 2005. The growth characteristics of cherry tomatoes of greenhouse heating systems using far infrared heater. Proceedings of the KSAM 2005 Summer Conference. 10(2): 237-239. (In Korean)
5. Ro, J. G., H. J. Kim, H. Li, C. S. Han and C. S. Cho. 2006. Thermal energy characteristics for greenhouse heating system with far-infrared heater. Journal of Biosystems Engineering 31(6): 529-534. (In Korean)