

고설 딸기 관부 난방시스템의 에너지 절감 효과

문종필^{1*} · 박석호¹ · 권진경² · 강연구¹ · 이재한¹ · 김형권²

¹국립원예특작과학원 시설원예연구소, ²국립농업과학원 에너지환경공학과

Energy Saving Effect for High Bed Strawberry Using a Crown Heating System

Jong Pil Moon^{1*}, Seok Ho Park¹, Jin Kyung Kwon², Youn Koo Kang¹,
Jae Han Lee¹, and Hyung Gweon Kim²

¹Protected Horticulture Research Institute, National Institute of Horticulture and Herbal Science,
RDA, Haman 52054, South Korea

²Department of Energy and Environment, National Institute of Agricultural Science, RDA, Jeonju 54875, South Korea

Abstract. This study is the heating energy saving test of the high-bed strawberry crown heating system. The system consists of electric hot water boiler, thermal storage tank, circulation pump, crown heating pipe(white low density polyethylene, diameter 16mm) and a temperature control panel. For crown heating, the hot water pipe was installed as close as possible to the crown part after planting the seedlings and the pipe position was fixed with a horticultural fixing pin. In the local heating type, hot water at 20~23°C is stored in the thermal tank by using an electric hot water boiler, and crown spot is partially heated at the setting temperature of 13~15°C by turning on/off the circulation pump using a temperature sensor for controlling the hot water circulation pump which was installed at the very close to crown of strawberry. The treatment of test zone consisted of space heating 4°C + crown heating(treatment 1), space heating 8°C(control), space heating 6°C + crown heating(treatment 2). And strawberries were planted in the number of 980 for each treatment. The heating energy consumption was compared between November 8, 2017 and March 30, 2018. Accumulated power consumption is converted to integrated kerosene consumption. The converted kerosene consumption is 1,320L(100%) for space 8°C heating, 928L(70.3%) for space 4°C + crown heating, 1,161L(88%) for space 6°C + crown heating. It was analyzed that space 4°C + pipe heating and space 6°C + crown heating save heating energy of 29.7% and 12% respectively compared to 8°C space heating(control).

Additional key words : entire space, local spot, low density polyethylene pipe, partially heated

서 론

우리나라 딸기 생산액은 2017년 현재 1조 3,964억원으로 전체 농업생산액의 2.8%를 차지하고 있으며 수박, 토마토, 오이 다음으로 생산량이 많은 채소이다(MAFRA, 2018). 딸기 재배면적은 2017년 현재 5,907ha이며 시설재배 면적은 5,783ha로서 98%를 차지하고 있다(MAFRA, 2018). 시설재배에서는 온도, 습도, 광, 탄산가스 농도에 대한 환경조절이 매우 중요하다. 특히 온도에 대한 환경 관리는 차광, 환기, 냉난방 및 보온 등이 필요하며 에너지 비용에 직접 영향을 미치고 있어 그 중요성이 매우 크다(Park 등, 2010). 최근에는 온수보일러, 온풍난방기,

히트펌프(Lee 등, 2011) 및 증발냉각(Nam 등, 2014) 등을 이용하여 시설전체를 냉난방하는 방식에서 벗어나 온도에 민감한 부분을 대상으로 부분냉난방을 실시하여 꽃눈분화 촉진, 병해 방지, 에너지 절감을 실현하는 연구가 꾸준히 수행되어 왔다(Cho 등, 1994; Nam 등, 2002; Kim 등, 2002; Jun 등, 2008; Kim 등, 2010a, 2010b; Kawasaki 등, 2011; Choi 등, 2013). 특히 딸기에 대한 부분냉난방 연구에서는 대관령, 무주 등 고랭지에서 재배되고 있는 사계성 딸기를 대상으로 딸기의 온도 민감부인 관부(크라운부)를 15°C의 냉수로 집중 냉방하여 혹서기 7~8월의 고온스트레스로 인한 생육장애 및 생산량 감소를 극복함으로써 관행적인 재배방식에 비해 생산량을 30%까지 증대시킬 수 있었다. 부분냉방에 대한 선행연구 및 기술개발 과정에서 딸기의 관부가 온도에 특히 민감하다는 것을 확인할 수 있었다(Moon 등, 2014). 이러한 연

*Corresponding author: jpmoon2002@korea.kr

Received August 30, 2019; Revised October 11, 2019;

Accepted October 14, 2019

구결과를 바탕으로 저온단일성이며 일계성인 겨울 딸기에 대해서도 적용한 결과 관부 온도가 일평균 13~17°C로 처리를 하지 않은 관부온도보다 3~5°C 상승하였으며, 12월부터 3월까지의 초기 수확량은 43% 증수되는 것을 확인할 수 있었다(Moon 등, 2016). 그러나 딸기에 대한 관부난방을 함으로써 난방에너지가 얼마나 절감되는지에 대해서는 구체적인 연구수행이 되지 않은 것이 사실이다. 일본에서는 관부난방에 대한 연구가 많이 수행되었으며 전열선을 이용한 난방에너지 절감 효과를 연구한 사례가 있다(Kosi, 2012). 그러나 난방 배관과 온수를 이용한 에너지 절감 효과를 비교한 연구사례는 없다. 본 연구에서는 수량증대를 위해 관행적으로 이루어지는 전체 공간 난방 방식과 관부난방 처리를 하면서 온실 공간난방에 대한 설정온도를 낮게 운영함으로써 발생하는 고설 딸기의 수량 변화 및 에너지 절감 효과를 정량적으로 구명하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 고설 딸기 관부난방 시스템 에너지 절감 실험 개요

가. 시험온실 공간난방 최대난방부하량 설계 및 공간 난방 시스템 설치

시험은 전북 전주시 국립농업과학원 시험포장에 위치한 폭 7.0m, 측고 1.6m, 동고 4m, 길이 25m, 면적 175m²의 동서동 단동 온실 3개동을 대상으로 하였다. 피복은 폴리에틸렌 2중 피복이었고 권취식 다겹보온커튼이 설치되어 있었다. 시험온실의 난방기 용량 선정을 위해 최대난방부하를 식 (1)(농촌진흥청 국립농업과학원, 2015)을 이용하여 계산하였다. 보온커튼의 난방부하 절감률은 60%이며, 설계 외기온은 전주지방의 20년 빈도 최저기온인 -11.2°C, 온실 난방 설정온도는 10°C, 지중온도는 3.2°C를 설계인자로 하여 계산하였다.

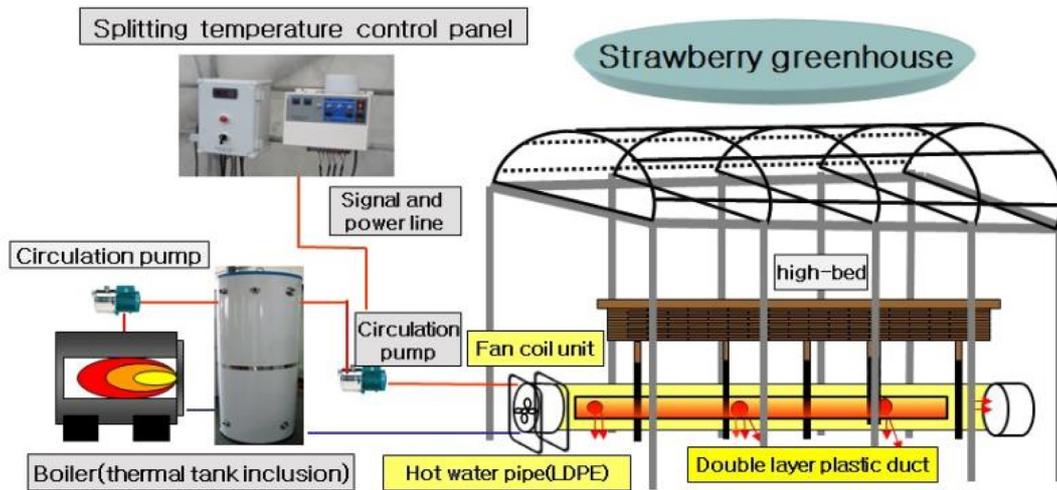


Fig. 1. Design of entire space heating for the test greenhouse.



(a) Hot water boiler (fuel: kerosene)



(b) Fan coil unit and double layer plastic duct

Fig. 2. Installation of hot water boiler, fan coil unit and double layer plastic duct

$$Q_g = [A_g(Q_t + Q_v) + A_s \cdot Q_s] F_w$$

$$= [A_g(H_t(T_s - T_o)(1 - F_r) + H_v(T_s - T_o)) + A_s \cdot 2(T_s - T_o) - 30] F_w$$

여기서 Q_g : 최대난방부하(W), A_g : 시설 피복면적(m^2), Q_t : 관류전열부하(W/m^2), Q_v : 환기전열부하(W/m^2), A_s : 시설 바닥면적(m^2), Q_s : 지중전열부하(W/m^2), F_w : 풍속보정계수, H_t : 관류열전달계수($W/m^2 \cdot ^\circ C$), T_s : 난방설정온도($^\circ C$), T_o : 설계외기온($^\circ C$), F_r : 보온재 열절감률, H_v : 환기전열계수($W/m^2 \cdot ^\circ C$)

상기의 계산에 의해 시험 단동온실 1동의 공간난방을 위한 최대난방부하는 19,436kcal/h로 계산되었으며 공간난방을 위해 각 동당 등유 온수보일러(70,000kcal/h) 1대, 팬코일유닛 (6,000kcal/h) 5대, 이중구조의 비닐 방열덕트 5라인을 Fig. 1, Fig. 2 와 같이 설치하였다.

나. 딸기 생장부 관부난방 시스템 설계 및 제작

고설 딸기 관부난방 시스템의 구성은 전기 온수 보일러, 축열조, 순환펌프, 부분난방배관(백색 연질 폴리에틸렌관, 직경 16mm), 변온관리 온도제어반으로 구성하였다. 부분난방을 위하여 온수배관은 딸기 정식 후 딸기 관부에 가능한 한 밀착시켜 설치하였으며 원예용 고정핀

으로 배관 위치를 고정하였다. 부분난방 방식은 전기 온수 보일러를 이용하여 20~23 $^\circ C$ 의 온수를 축열조에 저장하였다가 딸기 관부에 근접하여 설치한 온수 순환펌프 제어용 온도센서로 관부 주변온도를 감지하여 순환펌프를 ON/OFF하는 방식으로 관부를 집중적으로 난방하였다. 관부 난방시스템의 온수보일러의 용량은 시험온실 175 m^2 를 기준으로 5.3kW로 결정되었으며 이는 2016년도에 시험한 딸기 관부난방시스템의 적용시험에서 도출된 온실 면적 990 m^2 당 관부난방용 보일러 용량 30kW를 기준으로 결정하였다(Moon 등, 2016). 관부난방 배관의 방열장치는 축열조 온수온도 23 $^\circ C$, 관부 주변부 온도 5 $^\circ C$, 배관 입출구 온도차 3 $^\circ C$, 온수 순환유량 1,520L/h를 기준으로 설정하였다. 이상의 설계 조건에 의해 관부 국소난방 시스템의 구성은 시판 전기보일러(7kW), 축열조(600리터), 순환펌프(30L/min), 관부난방배관(백색 연질 폴리에틸렌관, 직경 16mm)로 구성하였다. 관부난방시스템의 운용은 전기온수보일러를 이용하여 20~23 $^\circ C$ 의 물을 축열조에 저장하였다가 온수 배관을 통해 관부만을 집중난방하며, 변온관리를 적용하여 05시~10시는 관부 온도를 15 $^\circ C$, 22시~다음날 05시는 관부 온도를 13 $^\circ C$ 로 유지하였다.



(a)Electric hot water boiler



(b)Splitting temperature control panel



(c)Hot water distributor



(d)Crown heating pipe(white LDPE)

Fig. 3. Crown heating system installation of high-bed strawberry

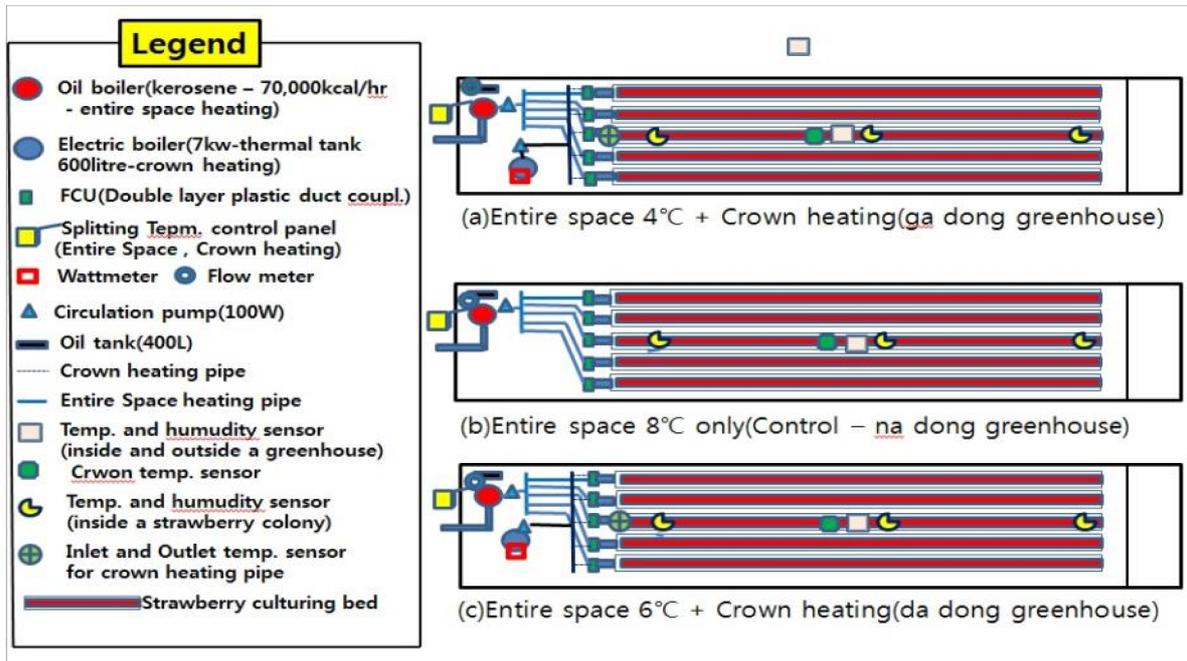


Fig. 4. Configuration and location drawing for space and crown heating system and measuring sensors.

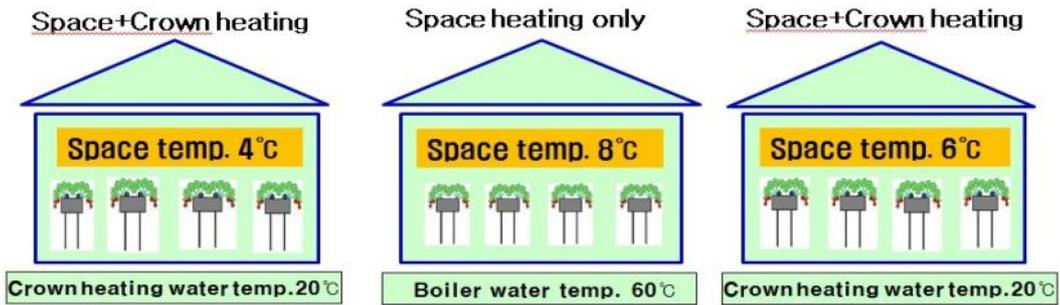


Fig. 5. Treatment factors of comparison test for crown and space heating.

2. 에너지 절감 시험 요인

가. 공간온도에 따른 관부난방시스템 에너지 절감 비교 시험

관부난방 시스템의 가동에 의한 생장부 온도유지 및 조절 시험을 수행하였다. 난방기간은 2017년 11월 2일 ~ 2018년 4월 30일이며 조사항목은 시험요인별 온실 공간 온습도, 관부난방배관 입출구 온도, 관부온도 등이다. 이를 위해 온습도 센서를 관부난방 시험온실 2동과 대조구 온실 1동 및 온실 외부에 Fig. 4와 같이 설치하였다. 또한 관부 난방시스템의 길이에 따른 성능 저하를 평가하기 위해 관부 난방배관의 입출구 온도와 관부의 표면온도를 측정하였고, 이를 통해 시험구별 공간난방 설정온도 및 관부난방 시스템 온수온도 유지 여부를 확인하였다.

시험구 처리는 공간난방 4°C + 관부난방(시험온실 1), 공간난방 8°C(대조구 온실), 공간난방 6°C + 관부난방(시험온실 2)로 Fig. 5와 같이 구성하였으며, 각 온실에는 고설베드를 5개씩 설치하고 딸기를 980주씩 정식하였다. 난방에너지 소비량을 측정하기 위해 공간난방에 소비된 등유 소비량, 관부난방에 소비된 전력 사용량을 각각 측정하였으며, 온실 내부 및 외부 온습도, 관부 난방배관 입출구 온도와 관부온도를 측정하고 수확량을 조사, 분석하였다. 이를 위해 적산유량계와 적산전력량계 및 온습도 센서를 Fig. 4와 같이 각 온실에 설치하였다.

나. 딸기 재배 및 생육 조사

시험품종은 설향이며, 9월 12일에 시험포장에 정식하

였다. 배양액은 치바농시 딸기전용 배양액으로 조성하였으며 개화기 이전에는 급액 농도 EC 0.8dS/m, pH 6.0으로 처리하였다. 1화방의 개화기 이후에는 EC 1.2dS/m로 수확개시기에는 EC 1.3dS/m로 조정하여 처리하였고, pH는 6.0을 계속 유지하였다. 급액횟수는 수확개시기 이전에는 1일 4회 공급하였으며 급액량은 1일 주당 200mL로 공급하였고, 수확기에는 1일 4회 공급하였으며 1일 주당 250mL를 공급하였다. 엽수는 주당 6~8매를 기준으로 하여 유지하였다. 난방 시험구별 딸기 생육을 비교하였다. 조사주는 난방 처리구당 45주씩으로 정면에서 좌측, 중간, 우측 베드 각각 15주씩, 베드 길이별로 앞, 중간, 뒤쪽의 5주씩을 대상으로 하여 3반복으로 조사하였으며 관부직경, 화방, 꽃수, 착과수, 엽수, 초장, 엽장, 엽폭을 조사하였다. 에너지 절감 비교 시험인 것을 감안하여 수량조사에 더욱 중점을 두어 실시하였다. 수량은 전수조사를 실시하였으며 10g 이하, 기형과, 병해충과는 조사수량에서 제외하였다.

결과 및 고찰

1. 딸기 관부 난방 시스템 생장부(관부) 온도조절 및 성능시험 분석

가. 관부난방 생장부(관부) 온도 조절 성능시험 분석

난방시간 동안 딸기 관부난방 배관의 온도는 공간난방 4°C+관부난방, 공간난방 6°C+관부난방 모두 Fig. 6, 7과 같이 입구온도 21°C, 출구온도 20°C로 나타나 축열조 온도와 온수 순환펌프의 용량 설계가 적절했으며, 관부난방 배관 길이방향으로 1°C 정도의 온도차로 전체 딸기 균락에 대한 균일한 관부난방이 가능한 것으로 분석되었다. 주간 난방을 하지 않는 시간대의 관부난방 배관의 온도는 난방 종료와 함께 16~17°C 까지 급격히 낮아졌다가 태양열 입사에 의해 15시경 18~20°C까지 증가한 후 다시 난방개시 시간까지 감소하였다.

Fig. 8과 같이 2017년 12월 26~27일의 온실의 공간온도는 관행의 8°C 공간난방구(대조구)인 경우 18시경 등

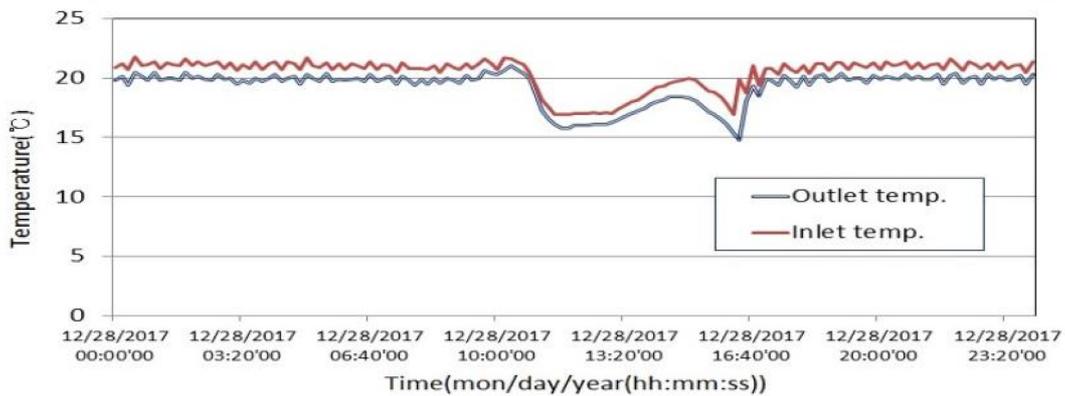


Fig. 6. Inlet and outlet temperature of crown heating pipe(space 4°C+crown heating).



Fig. 7. Inlet and outlet temperature of crown heating pipe(space 6°C+crown heating).

고설 딸기 관부 난방시스템의 에너지 절감 효과

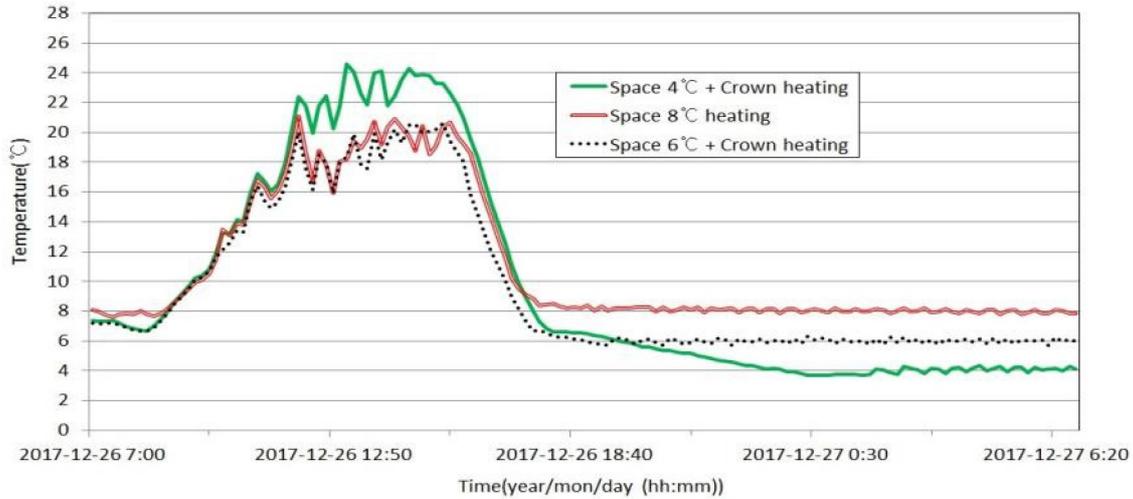


Fig. 8. Entire space temp. comparison for each greenhouse set up by different heating condition.

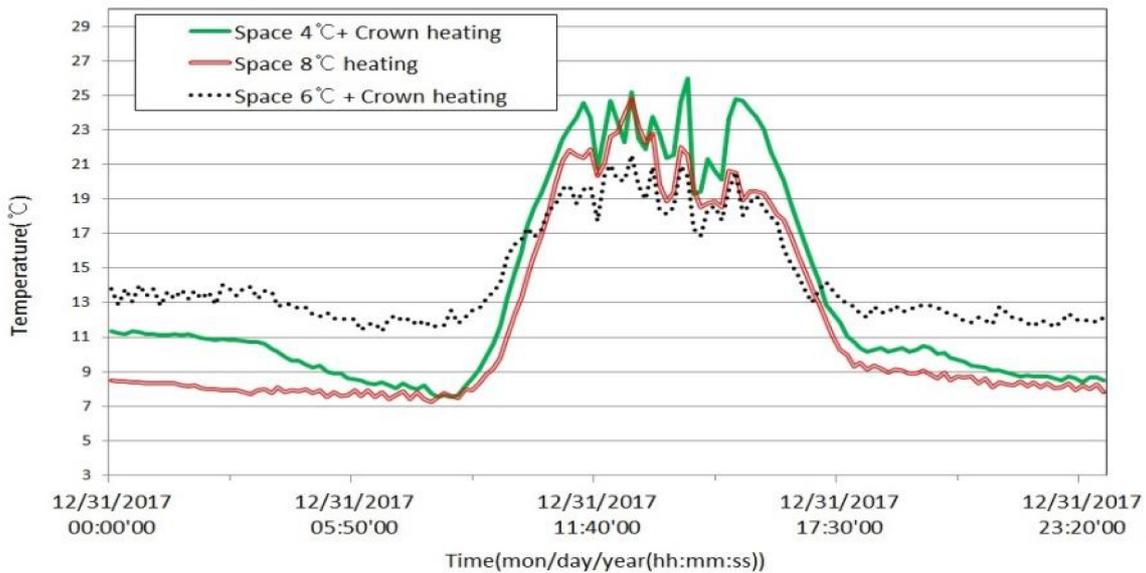


Fig. 9. Crown temp. comparison for each greenhouse set up by different heating condition.

유 온풍난방기가 가동하여 공간난방 설정온도인 8°C를 유지하였으며, 공간온도 6°C+관부난방구는 약 20시경 온풍난방기가 가동하며 공간온도 6°C를 잘 유지하였다. 공간온도 4°C+관부난방구는 난방가동시간이 지연되어 0시경부터 난방기가 가동되어 난방설정온도 4°C를 유지하였다. 이와 같이 관부난방을 가동하는 조건에서 공간난방 기준온도를 6°C 및 4°C로 설정하면 난방개시 시간이 8°C 공간난방구에 비해 각각 약 2시간 및 6시간씩 지연되며, 공간난방에 사용된 등유온풍난방기의 ON-OFF 주기가 길어지는 효과가 중첩되어 유류 소비량이 감소하는 효과가 나타나는 것으로 분석되었다.

나. 관부난방 온도에 따른 딸기 관부 온도 분석
관부난방 및 공간난방을 가동한 야간의 난방시험구별 관부의 표면온도 측정 결과를 분석한 결과 공간온도 4°C+관부난방구의 관부 표면온도는 7~11°C의 범위로, 공간온도 6°C+관부난방구는 11~14°C의 범위로 나타나 각 시험구의 공간난방 온도보다 3~7°C 및 5~8°C 높게 나타났다. 관부 난방시 관부 주변의 설정온도를 05시~10시는 15°C, 22시~다음날 05시는 13°C로 유지하는 변온관리를 하였으므로 공간온도 4°C+관부난방구의 관부온도는 변온관리로 인하여 설정된 관부 주변 온도 평균 14°C 보다 약 3~7°C, 공간온도 6°C+관부난방구는 0~3°C 정도

낮아지며 이는 관부난방 배관과 딸기 관부 사이의 간극 및 열전달 과정에서의 손실 등이 작용했기 때문일 것으로 판단되었다. 공간온도 8°C 대조구의 관부표면온도는 7~8°C 범위로 온실 야간 기온과 거의 같았으며 4°C+관부난방구와 공간온도 6°C+관부난방구보다 각각 0~4°C, 4~7°C 정도 낮은 것으로 분석되었다. 이와 같이 관부 난방은 동절기 야간에 온실 기온은 낮게 유지하는 반면 온도 민감부인 관부의 온도는 관행 공간난방에 비해 높게 관리되는 것으로 나타났다.

다. 관부난방 시험구별 작물생육 및 수확량 비교

난방 시험구별 딸기 생육을 비교하였다. 생육조사는 2017년 11월 14일, 2018년 1월 30일, 3월 28일에 각각 조사하였다. 분석 결과, 난방 방법에 따른 딸기 생육에서 유의한 차이는 없었으나 공간온도 6°C+관부난방구가 상대적으로 높은 온도에서 성장하였으므로 관부직경이

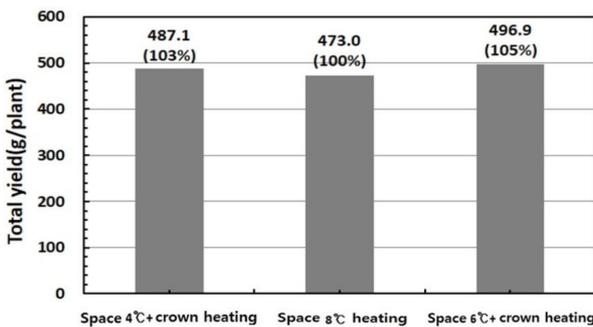


Fig. 10. Cumulative yield comparison for each treatment (2017.11.28~2018.4.30).

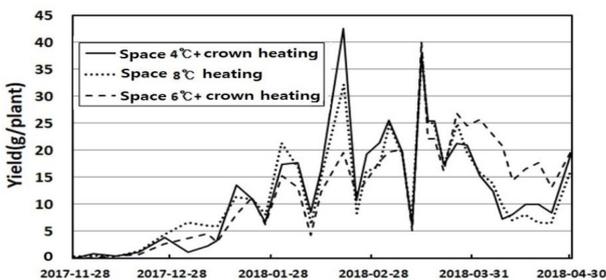


Fig. 11. Yield comparison for each treatment on yield day base(2017.11.28~2018.4.30.).

약간 컸으며, 초장, 엽장, 엽폭 등에서 상대적으로 큰 값을 나타내었다. 따라서 온실 공간의 야간 난방온도가 낮더라도 딸기의 온도 민감기인 관부의 온도를 상대적으로 높게 유지해주면 정상적인 화아 및 엽아의 분화가 발생하며 이후 정상적 생육이 가능한 것으로 판단되었다.

2017년 11월 08일~2018년 4월 30일 간의 난방처리구별 누적 수확량을 조사한 결과, 난방 처리구별로 공간 8°C 난방구는 473g/주(100%), 공간 4°C+관부난방은 487g/주(103%), 공간 6°C+관부난방은 497g/주(105.1%)로 Fig. 10과 같이 나타났으며 관부난방구가 공간난방 대비 3~5%의 증수효과가 있음을 확인하였다. 다만 공간 8°C 난방구와 공간 4°C+관부난방구는 수확량의 경향이 거의 일치하였으나 공간 6°C+관부난방구는 3월 하순 이전의 수확량이 다른 난방구에 비해 낮은 반면 4월 이후 수확량이 Fig. 11과 같이 매우 높게 나타났다. 이는 6°C+관부난방구 온실이 인접한 고측근 연동온실의 그늘 영향으로 동절기에 일출 직후의 초기 광량이 부족하고 이후 태양고도가 높아지면 광량이 회복되었기 때문으로 판단된다. 3월 중순부터는 태양고도가 높아져 아침에도 충분한 광량이 확보되어 작물 생육이 충분이 이루어져 4월의 수확량이 큰 폭으로 회복된 것으로 판단되었다. 따라서 공간 8°C와 공간 4°C+관부난방구를 비교하면 온실 난방온도를 8°C에서 4°C로 낮추어도 관부난방으로 관부온도를 높게 유지함으로써 생육의 저하와 수확시기의 지연 없이 비슷하게 딸기 수확이 가능한 것으로 판단되었다.

라. 관부난방 시험구별 난방에너지 소비량 비교

난방 처리구별 2017년 11월 8일~2018년 3월 30일 간의 난방에너지 소비량을 Table 1과 같이 비교하였다. 적산 전력량은 적산 등유 소비량으로 환산하여 공간난방에 사용된 등유 소비량과 합산하였으며 이때 전기난방기의 효율은 99%, 등유는 살내등유 기준 고위발열량 8,800kcal/L, 등유 난방기의 효율은 90%를 각각 적용하였다. 환산 등유 소비량은 공간 8°C 난방구는 1,320L(100%), 공간 4°C+관부난방구는 928L(70.3%), 공간 6°C+관부난방구는 1,161L(88%)로 나타나 공간 4°C+관부난방구와 공간 6°C+관부난방구는 8°C 공간난방 대비 각각 29.7%와 12% 난방에너지 절감효과가 있는 것으로 분석되었으며 그 결과는 Fig. 12와 같다.

Table 1. Cumulative Heating energy comparison for each treatment

Heating treatment	Space 4°C + crown heating	Space 8°C heating	Space 6°C + crown heating
Kerosene consumption(L)	321.2	1,320	571.7
Power consumption(kWh)	5,640.0	-	5,483.0

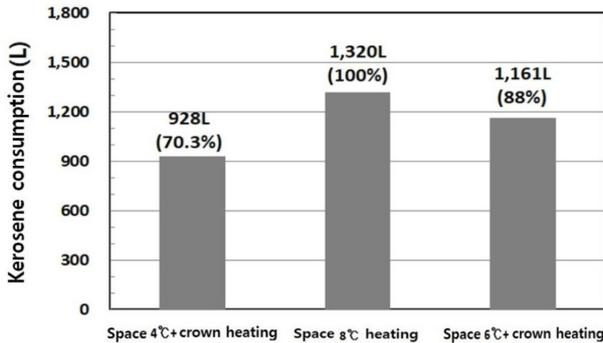


Fig. 12. Heating energy consumption comparison for each treatment(2017.11.28.~2018.3.30.).

적 요

본 연구에서는 고설 딸기 관부(크라운부) 난방시스템을 전기 온수 보일러, 축열조, 순환 펌프, 관부난방 배관(백색 연질 PE관, 관경 16mm) 및 온도 제어반으로 구성하였다. 관부(크라운부) 난방의 경우 난방 배관을 딸기 관부에 최대한 밀착될 수 있도록 설치하고 배관 위치를 원예용 고정핀으로 고정하였다. 또한 관부 난방시스템의 에너지 효율을 증진하기 위해 축열조 온수 온도를 20~23°C, 관부 온도를 13~15°C로 관리하였다. 관부난방은 전기 온수보일러를 이용하여 20~23°C의 온수를 축열조에 저장하고 순환펌프를 제어하기 위한 온도 센서를 딸기의 관부에 최대한 근접하여 설치하고 온도를 감지함으로써 관부(크라운부)를 집중적으로 난방하는 방식이다. 시험 온실의 난방 처리는 공간 난방 4°C + 관부난방(처리 1), 공간 난방 8°C(대조구), 공간 난방 6°C + 관부난방(처리 2)로 처리하였다. 각 난방처리는 온실 1동에 딸기를 980주를 심었으며, 재배방법은 표준재배법에 준해서 재배하였다. 난방 에너지 소비에 대한 비교시험은 2017년 11월 8일부터 2018년 3월 30일까지 수행되었다. 소비된 누적 전력량은 등유 사용량으로 환산하였고, 등유 소비량은 공간난방 8°C(대조구)의 경우 1,320L(100%), 공간난방 4°C + 관부난방의 경우 928L(70.3%), 공간난방 6°C + 관부난방의 경우 1,161L(88%)로 계측되었다. 공간난방 4°C + 관부난방(처리 1) 및 공간난방 6°C + 관부난방(처리 2)은 8°C 공간난방(대조구)에 비해 생육 저하, 수확시기의 지연 등이 없이 비슷하게 딸기 수확이 가능하였으며, 29.7% 및 12%의 난방 에너지가 절감되는 것으로 분석되었다.

추가주제어: 전체 공간, 국소 부분, 연질PE관, 부분 난방

사 사

본 연구는 농촌진흥청 국립원예특작과학원 연구개발사업(과제번호:PJ01425201)의 지원에 의해 이루어진 것임.

인용문헌

Cho, I. H., Y. H. Woo., H. Nishina, and Y. Hashimoto, 1994. Studies on zone cooling of greenhouse in the daytime in summer and occurrence of blossom-end rot in tomato plants. *Journal of Biological Production Facilities & Environmental Control* 3:36-41. (in Korean)

Choi, K. Y., J. Y. Ko, E. Y. Choi, H. C. Rhee, S. E. Lee, and Y. B. Lee. 2013. The effect of root zone cooling at night on substrate temperature and physiological response of paprika in hot climate, *Protected Horticulture and Plant Factory* 22:349-354. (in Korean)

Jun, H. J., J. G. Hwang, M. J. Son, and D. J. Choi. 2008. Effect of root zone temperature on root and shoot growth of strawberry, *Journal of Bio-Environment Control* 17:14-19. (in Korean)

Kawasaki, Y., K. Suzuki, K. Yasuba, and M. Takaichi. 2011. Effect of local air heating by a hanging duct near the tomato shoot apex and flower clusters on vertical temperature distribution?fruit yield and fuel consumption. *Hort. Res.* 10:395-400. (In Japanese)

Kim, K. D., Y. S. Ha, K. M. Lee, D. H. Park, S. G. Kwon, J. M. Park, and S. W. Chung. 2010a. Development of temperature control technology of root zone using evaporative cooling methods in the strawberry hydroponics, *Journal of Bio-Environment Control* 19:183-188. (in Korean)

Kim, K. D., Y. S. Ha, K. M. Lee, D. H. Park, S. H. Kwon, W. S. Choi, and S. W. Chung. 2010b. Development of temperature control technology of root zone using multi-line heating methods in the strawberry hydroponics, *Journal of Bio-Environment Control* 19:189-194. (in Korean)

Kim, T. Y., Y. H. Woo, I. H. Cho, K. D. Kim, and J. W. Lee. 2002. Effects of energy saving on partial heating for pot flower bench cultivation, *Proceedings of the 2002 Annual Conference of the Korean Society for Bio-Environment Control* 44-47. (in Korean)

KoJi, M. 2012. Energy saving warming technology for strawberry cultivation. *Information Corner(Vegetable Information June 2012 Issue)* Fukuoka Prefecture Agricultural Experiment Station Vegetable Department(<https://vegetable.alic.go.jp/yasaijoho/joho/1206/joho01.html>)

Lee, K. J., Y. C. Kwon, C. K. Chun, S. J. Park, J. T. Kwon, and C. Huh. 2011. Experimental study on heating performance characteristics of air source heat pump with air to water type, *Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering* 23:400-405. (in Korean)

Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs(MAFRA).

2018. Greenhouse status for the vegetable grown in facilities and the vegetable productions in 2017 ed. Sejong, Korea. (in Korean)
- Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs(MAFRA). 2018. Principal statistics for agriculture, forestry, livestock and food in 2017 ed. Sejong, Korea. (in Korean)
- Moon, J. P., G. C. Kang, J. K. Kwon, S. J. Lee, and J. N. Lee. 2014. Spot cooling system development for ever-bearing strawberry by using low density polyethylene pipe. *Journal of The Korean Society of Agricultural Engineers* 56: 149-158. (in Korean)
- Moon, j. p., G. C. Kang, J. K. Kwon, Y. Paek, T. S. Lee, S. S. Oh, and M. H. Nam. 2016. Spot heating technology development for strawberry cultivated in a greenhouse by using hot water pipe, *Journal of The Korean Society of Agricultural Engineers* 58:71-79. (in Korean)
- Nam, S. W. 2002. Estimation of soil cooling load in the root zone of greenhouses, *Journal of Bio-Environment Control* 11:151-156. (in Korean)
- Nam, S. W., Y. S. Kim, and D. U. Seo. 2014. Change in the plant temperature of tomato by fogging and airflow in plastic greenhouse, *Protected Horticulture and Plant Factory* 23:11-18. (in Korean)
- Park, J. W., Y. S. Ha, K. D. Kim, D. H. Park, K. M. Lee, H. J. Jun, S. G. Kwon, W. S. Choi, and S. W. Chung. 2010. Modeling of medium temperature drops of the elevated-bench hydroponics for strawberry cultivation during low temperature season, *Journal of Bio-Environment Control* 19:123-129. (in Korean)
- Rural Development Administration, National Institute of Agricultural Sciences. 2015. Design standards for greenhouse environment, Wanju, Jeollabukdo, Korea. (in Korean)