



연질 PE관을 이용한 여름딸기 부분냉방기술 개발 Spot Cooling System Development for Ever-bearing Strawberry by Using Low Density Polyethylene Pipe

문종필^{*,†} · 강금춘^{*} · 권진경^{*} · 이수장^{*} · 이종남^{**}

Moon, Jong Pil · Kang, Geum Choon · Kwon, Jin Kyung · Lee, Su Jang · Lee, Jong Nam

Abstract

The effects of spot cooling on growing ever-bearing strawberry in hydroponic cultivation during summer by spot cooling system was estimated in plastic greenhouse located in Pyeongchang. The temperature of cooling water was controlled by heat pump and maintained at the range of 15~20 °C. Cooling pipes were installed in root zone and very close to crown. Spot cooling effect was estimated by applying system in three cases which were cooling root zone, crown plus root zone, and crown only. White low density polyethylene pipe in nominal diameter of 16 mm was installed on crown spot, and Stainless steel flexible pipe in nominal diameter of 15A was installed in root zone. Crown and root zone cooling water circulation was continuously performed at flowrates of 300~600 L/hr all day long. Strawberry yields by test beds were surveyed from Aug. 1 to Sep. 30. The accumulated yield growth rate compared with a control bed of crown cooling bed was 25 % and that of crown plus root zone cooling bed was 25 % and that of root zone cooling bed was 20 %. The temperatures of root spot in root zone cooling was maintained at 18.0~23.0 °C and that of crown spot in crown cooling was maintained at 19~24 °C. Also, the temperatures of root spot in crown plus root zone cooling bed was maintained at 17.0~22.0 °C and that of crown spot was maintained at 19~25 °C.

Keywords: Spot cooling system; Ever-bearing strawberry; Crown cooling; Low density polyethylene pipe

1. 서 론

우리나라 딸기 생산액은 2012년 현재 1조 1,888억원으로 농림생산액의 2.6%에 이르고 고추, 수박 다음으로 생산액이 높은 채소로서, 대부분 남부지방에서 동계를 중심으로 재배되고 있는 저온성 과채류이다. 딸기재배면적은 2012년 현재 6,435 ha이며 그 중에서도 시설재배면적은 6,290 ha로서 98%를 차지하고 있다. 시설재배는 품질이 좋고 연중생산을 위하여 노지농업보다는 작물생육의 환경조절요소인 온도, 습도, 광, 탄산가스 등 작물생육의 기본적인 환경조절이 비교적 용이하고 적절한 관리가 가능하기 때문이다 (Nam et al., 2014). 이러한 시설내의 환경조절을 위해서는 온도, 습도, 광, 탄산가스 농도 등이 중요하며 특히 온도관리 (Park et al., 2010)는 차광, 환기, 냉난방 및 보온 등이 필요할 정도로 가장 중요한 작물재배환경으로 그 중요성이 매우 크다.

딸기는 저온과 단일조건에서 꽃눈분화하는 일계성 딸기와

고온장일 조건에서 꽃눈분화가 되는 사계성 딸기 (여름딸기)로 구분할 수 있다. 일계성 딸기는 꽃눈분화가 저온과 단일 조건하에서 생장점에서 시작되고 고온과 장일 조건 하에서 발육이 왕성하다 (Lee et al., 2010). 그러므로 일계성 딸기 재배는 주로 겨울을 중심으로 12월부터 5월까지 생산되고 있으며 시설재배에 의한 생산량이 90%를 차지하고 있다. 일계성 딸기가 재배되지 않는 시기인 6월부터 11월까지는 일본의 신선 딸기 수입에 대응하기 위하여 사계성 딸기 (여름딸기)가 비교적 온도가 낮은 대관령, 무주 등의 고랭지에서 주로 고설베드의 수경재배로 이루어지고 있으며 고랭지조차도 딸기의 적정생육온도보다 높은 온도에서 경과하는 기간이 길어지고 생식생장을 유도하여 착과시키는 것이 어려워 착과불량에 의한 기형과 발생 및 수량 감소가 나타난다. 여름딸기의 경우 생육온이 17~20 °C이고 25 °C 이상이 되면 고온에 따른 생육이 지연되고 30 °C 이상이 되면 생육이 정지된다. 최근에는 고랭지에서도 하절기 온실내부의 실내온도가 35~40 °C 이상으로 상승하는 경우가 많아 고온피해를 저감하기 위해 증발냉각 및 히트펌프를 이용한 여러 가지 냉방기술을 적용하여 온실내의 온도를 낮추려는 시도를 하고 있다 (Ryou et al., 2008; Nam et al., 2014). 그러나 개발된 기술의 대부분이 온실전체 공간을 냉방하기 위한 기술로서 설치 및 운전비용이 많이 들어 경제성이 떨어져 현실적이지 못하다. 그러므로 경제성이 고려된

* National Academy of Agricultural Science

** National Institute of Crop Science

† Corresponding author

Tel.: +81-63-238-4084 FAX: +81-63-238-4078

E-mail: jpmoon2002@korea.kr

Received: October 22, 2014

Revised: November 13, 2014

Accepted: November 18, 2014

효율적인 냉방기술개발 (Kim et al., 2002)이 중요하므로 이 연구에서는 작물체의 생장부와 같은 온도민감부 (관부, 뿌리부)만을 냉방하여 냉방부하량을 온실전체 냉방부하보다 1/5 수준으로 현저하게 줄일 수 있고 (Kim et al., 2011) 고온스트레스에 의한 생육장애를 해소할 수 있는 부분냉방기술 (Jun et al., 2008; Kim et al., 2010; Nam, 2002)을 개발하고자 하였다.

II. 재료 및 방법

1. 배관종류별 냉각범위 예측

가. 냉수배관 방열특성 요인시험장치 설계 및 제작

냉수배관의 냉각 범위를 측정하여 작물생장점과의 최적이격거리 설정을 위해 Fig. 1과 같이 요인시험장치를 설계 및 제작하여 온실내부에 설치하였다. 요인시험의 구성요소는 공기 대 물 히트펌프 (Lee et al., 2011), 정밀 온도센서, 순환펌프, 축냉조, 데이터 저장장치 등으로 구성하여 냉수배관의 입출구 온도 및 통과되는 배관의 상하좌우의 방열범위를 측정하기 위해 상하좌우 10 cm 간격으로 정밀온도센서를 십자형태로 설치하고 방사원의 중심에는 냉수배관이 통과하도록 설계하였다.

나. 냉각범위 측정 시험요인

냉수배관의 재질에 따라 스테인레스 주름관, 연질 PE관, X-L관을 실험하였으며 직경은 수경재배베드 상부에 2줄로 설치하기에 적합하도록 10~20 mm를 대상으로 하여 측정하였다. 냉수의 온도는 여름철 지하수의 온도에 가까운 10~22 °C로 하였으며 순환유량은 10~60 L/min로 하여 냉각범위를 예측하였다.

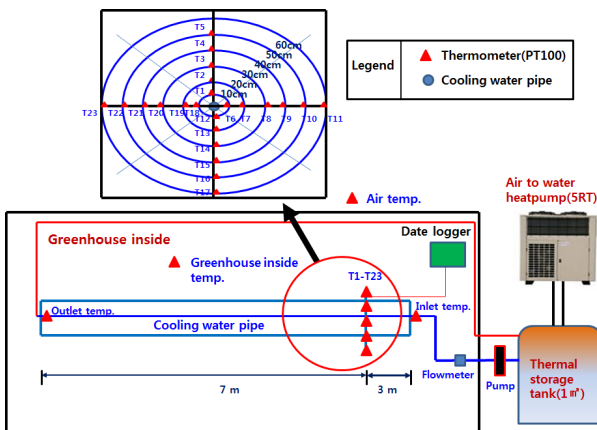


Fig. 1 System draft of measuring the length of cooling effect around cold water pipe

- 냉수배관 부분냉각 범위 측정 시험요인

- 방열관 재질 : 스테인레스 주름관, 연질 PE관, X-L관
- 방열관 직경 : 16, 20, 25 mm
- 냉각수 온도 (°C) : 10, 14, 18, 22
- 냉각수 순환유량 (L/min) : 10, 20, 30, 40, 50, 60

다. 배관별 냉각범위 예측결과

냉수배관의 냉각에 의한 주변공기의 온도가 작물생육에 적합한 온도인 14 °C에서 30 °C 사이에 걸쳐 있는 냉방범위를 Fig. 2와 같이 측정한 결과 온실내부의 주간온도가 41 °C, 배관 호칭경이 20 mm, 냉각수 온도가 14 °C 이고 순환유량이 20 L/min 일 때 측정결과는 Table 1과 같았으며 모든 조건에서 거의 비슷한 냉각범위를 보여 복사에 의한 열전달과 배관 표면에서 멀리 떨어진 공기의 대류에 의한 열전달 및 일사량에 의한 열전달 현상에 의해 냉각범위가 크게 차이가 나지 않는 것으로 나타났다. Table 1에서 알 수 있듯이 스테인레스 주름관이 냉각범위가 제일 넓었고 연질의 PE관이 가장 좁은 것으로 나타났다. 이러한 결과로부터 베드 길이가 50 m 이며 딸기묘가 베드전체에 걸쳐 2줄로 재식되므로 베드의 도입부와 말단부까지 냉방효과를 균일하게 유지하기 위해서는 한지점에서의 냉방효과가 큰 스테인레스 주름관보다는 생장부에 밀착할 수 있도록 유연성이 있고 열흡수가 적은 연질의 PE관이 베드길이가 긴 수경재배베드에 유리할 것으로 판단되었고 냉

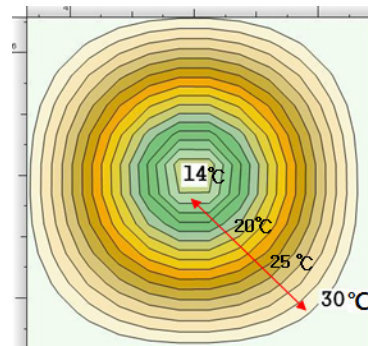


Fig. 2 Example of measuring length of cooling effect

Table 1 Results of measuring length of cooling effect with the range of 14 ~ 30 °C by pipe materials

Cooling pipe	Length of cooling effect (Plant growing temp. : 14~30 °C)
Stainless steel corrugated (SSC) pipe	6.5 cm
Extra long (XL) pipe	6.3 cm
Low density polyethylene (LDPE) pipe	5.3 cm

방효과, 베드 폭, 재식간격, 양액 및 관수호스 등을 고려해 볼 때 16 mm 배관이 베드상부에 설치하기에는 가장 적합한 것으로 판단되었다.

2. 여름딸기 온도민감부 냉방시험

가. 여름딸기 온도민감부 냉방 예비시험

딸기의 생장부인 근권부 (Kim et al., 2010a; Kim et al., 2010b)와 관부 (크라운부)에 대한 냉방효과(Kim et al., 2011)를 알아보기 위해 강릉시 왕산면 송현리 여름딸기 재배 유리 온실에 시험베드를 설치하고 여름딸기 온도민감부에 대한 냉방효과를 시험하였다.

시험베드는 길이가 30 m이며 높이가 130 cm로서 베드당 ‘고하’ 254주를 2012년 4월 27일에 정식하여 6월 20일부터 수확을 시작하였으며 부분냉방을 위한 냉각수는 시험농가의 사정에 따라 냉각수로 사용된 지하수를 물저장 탱크로 회수하여 재사용하고 수량이 부족하면 지하수를 보충하여 농사에 사용하였다. 그러므로 수온이 6월에는 15 °C를 유지하였으나 7, 8월에는 온도가 20 °C 이상으로 상승하였다. 지하수를 이용하여 6월 7일부터 10월 10일까지 매일 09:00부터 19:00까지 여름딸기의 관부 및 뿌리부에 대한 부분냉방을 실시하였으며 6월 20일부터 수확량 조사를 실시하였다. 시험요인은

연질의 PE관을 이용한 관부 냉방 (1번 베드), 관부는 연질의 PE관으로 근권부는 스테인레스 주름관을 이용하여 관부와 뿌리부를 동시에 냉방하는 관부+뿌리부 냉방 (2번 베드), 스테인레스 주름관만을 이용하여 근권부만을 냉방하는 뿌리부 냉방 (3번 베드)에 대한 부분냉방효과에 대한 예비시험을 하였으며 냉방처리를 하지 않고 관행적으로 재배하는 시험베드를 대조구로 하였다. 시험베드별 여름딸기의 냉방처리부, 냉방배관 규격, 재질 및 냉각수 순환유량 등은 Table 2와 같다.

냉방효과를 측정하기 위해 베드표면에 설치된 냉수배관상부 2 cm, 10 cm, 20 cm 의 온도를 열전대 T-type 으로 측정하였으며 근권부는 베드의 지중 5 cm 깊이의 온도를 Fig. 3과 같이 측정하였다.

나. 온도민감부 냉각시험 결과

1) 관부 (크라운부) 냉방효과

1번 베드의 관부만의 냉방효과는 Fig. 4와같이 베드 상부 2 cm가 상부 20 cm 보다 냉방기간에 평균적으로 3 °C의 냉방효과가 있었으며 최대 5 °C의 냉방효과가 있는 것으로 나타났으며 냉방효과는 7, 8월의 누적수확량이 대조구에 비해 29%가 증대되는 것을 확인할 수 있었다.

2번 베드는 Fig. 5와같이 관부와 근권부를 동시에 냉방처리하므로써 유량이 반으로 줄어 관부의 냉방효과는 단일냉방

Table 2 Cooling conditions of preliminary spot cooling test beds with cooling pipes applied to thermal sensitive spot of strawberry

Test bed No.	Cooling spot (Thermal sensitive spot of strawberry)	Cooling pipe	Nominal diameter (Coating color)	Flow (L/min)
1	Crown	LDPE pipe	16 mm (Black)	10
2	Root + Crown	SSC pipe (Root) + LDPE pipe (Crown)	15A (silver) + 16 mm (Black)	5, 5
3	Root	SSC pipe	15A (Silver)	10
4	No cooling pipe (Control)	-	-	-

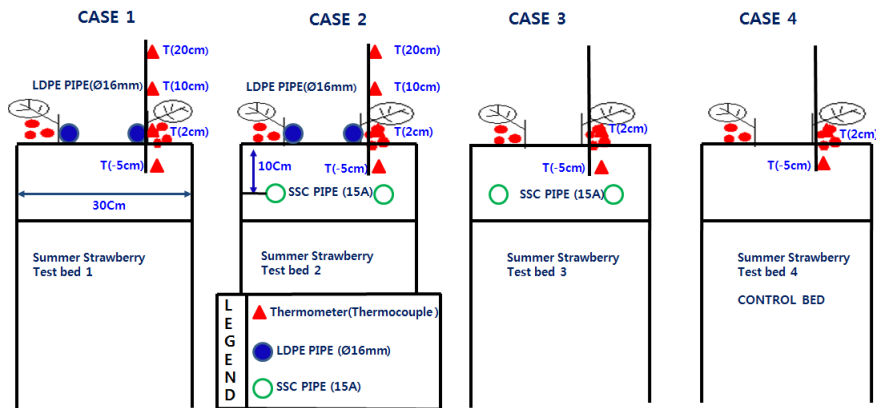


Fig. 3 Cooling pipes and thermometers locations, pipe materials for test beds

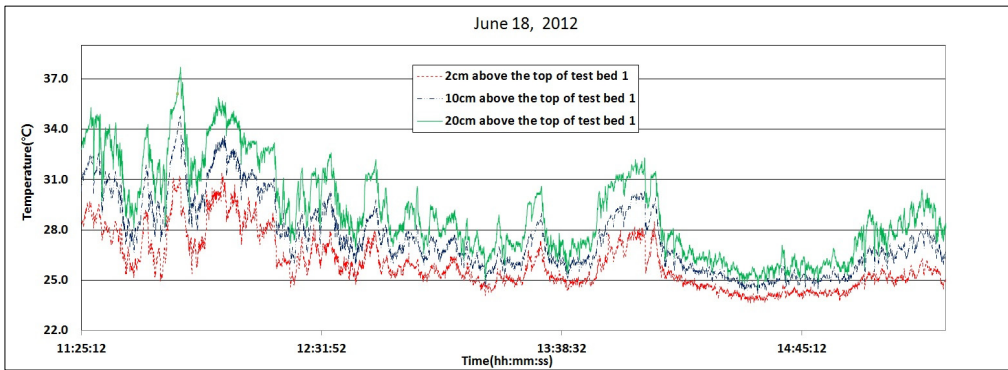


Fig. 4 Temperature comparison at each location above the top of test bed 1

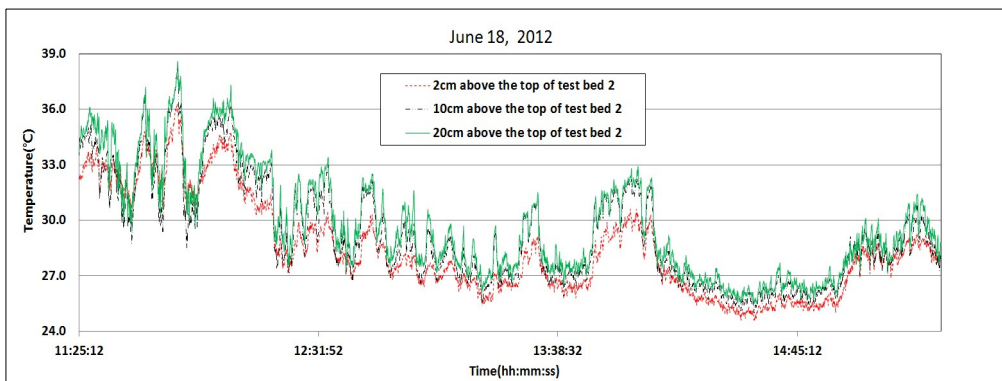


Fig. 5 Temperature comparison at each location above the top of test bed 2

처리한 경우에 비해 그 효과가 감소하였으며 2번 베드의 상부 2 cm의 평균온도가 베드 상부 20 cm의 평균온도에 비해 1.5 °C의 온도저감효과가 있는 것으로 나타났다. 1번 베드와 2번 베드의 결과로부터 관부는 유량의 변화에 따라 냉방효과가 서로 다르게 나타나는 것을 알 수 있었으며 유량증가에 따라 냉방효과도 증대되는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 여름딸기를 직접 재배하고 있는 농가에서 시험한 결과이며 상부 2 cm는 작물체의 잎과 줄기 등으로 차광효과가 있어 유량증가에 따른 냉방효과가 보다 분명하게 나타나는 것으로 판단되었다.

2) 근권부 냉방효과

2번 베드 근권부 (Kim et al, 2010) 냉방효과와 4번 베드 근권부의 온도를 비교해 본 결과 2번 베드는 평균적으로 23 °C의 온도분포를 보였으나 냉방처리를 하지 않은 4번 베드는 평균 26 °C의 온도분포를 보여 2번 베드와 3번 베드의 근권부 온도가 평균적으로 3 °C의 냉방효과가 나타났으며 3번 베드의 근권부의 순환유량이 2번 베드 근권부 순환유량의 2배이었지만 3번과 2번 베드의 근권부 온도는 거의 동일하였으며 근권부에서는 순환유량의 변동이 성장부에 비해 영향이 적은

것으로 판단되었다. 이러한 결과는 스테인레스 주름관과 펄라이트와의 열전달율이 커서 베드지중부의 제한된 공간을 빠른시간에 냉방하여 온도차이를 줄이고 평형에 도달한 것으로 판단되었다.

3) 열교환량 및 열관류율 산정

냉수배관을 이용한 부분냉방부하량을 결정하기 위해서는 우선적으로 관부와 근권부에 냉각배관으로 설치되는 연질 PE관과 스테인레스 주름관의 열관류율을 산정해야 하며 강릉에서 시험한 여름딸기 재배농가에서는 배관의 입출구 온도를 측정하지 않고 베드의 길이가 상대적으로 짧아 열관류율을 산정할 수 없었으므로 2013년 6~7월에 시험장소를 평창군 진부면 여름딸기 (샤롯데) 재배온실로 이동하여 베드길이가 50 m 인 비닐온실에서 모든 시험요인 및 냉각배관을 강릉에서의 예비시험과 동일하게 설치하고 냉수배관의 입출구 온도, 관부 온도, 뿌리부 온도 등을 TR-7iU (디지털 데이터 온도계, T&D Corp., 일본)에 의하여 열교환량과 열관류율 시험을 수행하였고 외기온 및 온실내부온도는 HOBO Pro V2 (온습도 센서, Onset computer, 미국)를 이용하여 계측하였다. 냉

Table 3 Cooling pipe spectation and flow rate according to cooling spot of ever-bearing strawberry

Cooling spot	Pipe	Heat transfer process	Nomial diameter	Flow rate (L/min)
Crown	LDPE pipe	Water → LDPE pipe → Air on pipe surface	16 mm	10
Root	SSC pipe	Water → SSC pipe → Middle of Perlite	15A	5

Table 4 Cooling pipe heat flux and Coefficient of overall heat transmission according to cooling spot of ever-bearing strawberry

Cooling spot	Temperature difference (°C) (Outlet-Inlet)	Cooling heat flux (kcal/hr)	Coefficient of overall heat transmission (kcal/m ² · °C · hr)
Crown	2.1	1260	83
Root	2.1	630	93

각수는 지하수 대신 공기대물 히트펌프 용량 5 United States Refrigeration Ton (USRT)로 냉수를 생성하여 시험하였고 배관표면 상부온도는 관부온도와 동일한 것으로 가정하고 다음과 같은 시험조건에서 수경재배 여름딸기 냉각부분 및 재질별 열교환량과 열관류율을 산정하였다.

Table 3에서 제시된 바와같이 연결 PE관은 호칭경 16 mm (내경 18 mm, 외경 22 mm)일 때 유량 10 L/min, 배관 중간지점의 표면 상부의 공기온도는 24.8 °C로서 작물체 근락 내부의 온도가 동일하게 유지된다고 가정하였으며 냉각배관의 입구온도는 21.0 °C, 출구의 온도는 23.1 °C 일때의 조건으로 식 (1)과 식 (2)에 의하여 관부에 설치된 연결 PE관의 열교환량 (냉각열량)과 열관류율을 Table 4와 같이 산정하였으며 냉각에 관여하는 표면적은 배관의 내경에 의하여 산정하였다.

$$Q = M_w \times C_w \times (P_o - P_i) \quad (1)$$

여기서 Q : 열교환량 (kcal/hr)
 M_w : 물의 질량유량 (kg/hr)
 C_w : 물의 비열 (kcal/kg·°C)
 P_o : 냉각수 입구온도 (°C)
 P_i : 냉각수 출구온도 (°C)

$$K = \frac{Q}{A \times (t_1 - t_2)} \quad (2)$$

여기서 K : 열전달율 (kcal/m²·°C·hr)
 A : 전열면적 (m²)
 t_1 : 배관 중간지점의 수온 (°C)

t_2 : 배관 중간지점의 표면 공기온도 (°C)

Table 3에서 제시된 바와같이 스테인레스 주름관은 호칭경 15A (내경 14 mm, 외경 18 mm), 유량 5 L/min, 배관중간지점의 배관 표면 지중 (펄라이트) 온도는 23.6 °C로 유지되었으며 냉각배관의 입구온도는 21.0 °C이고 출구의 온도는 23.1 °C 를 유지하였다. 상기의 조건과 식 (1)과 식 (2)에 의하여 근권부에 설치된 스테인레스 주름관의 열교환량 (냉각열량)과 열관류율을 Table 4와 같이 산정하였으며 냉각에 관계되는 표면적은 배관의 내경에 의하여 산정하였다.

3. 현장적용시험

해발고도 700 m인 대관령면에서 여름딸기를 생산하던 농가가 해발고도 600 m 인 진부면으로 이전함에 따라 생산지 이동으로 인한 고온피해가 예측되어 이를 해결하기 위해 평창군 진부면의 여름딸기 재배농가를 시험농가로 결정하였다. 재배하고 있는 여름딸기 품종은 ‘샤롯데’이었으며 3300 m²의 아치형 연동비닐온실에서 면적이 330 m²인 1동의 온실에 여름딸기 부분냉방시스템을 설치하여 현장적용시험을 수행하였다.

가. 부분냉방시스템 기본 설계

여름딸기 부분냉방시스템의 냉각수를 제조하는 히트펌프의 용량결정을 위해 부분냉방부하량을 식 (3)에 의하여 산정하였으며 산정방법은 연결 PE관의 열관류계수와 스테인레스 주름관의 열관류계수에 배관별 설치길이에 따른 방열면적과 설계온도차이를 곱하여 산정하였다.

1) 냉수배관이용 부분냉방 부하량 산정

$$Q_g = (K_p \times A_p \times T_c) + (K_s \times A_s \times T_r) \quad (3)$$

여기서 Q_g : 부분냉방부하량 (kcal/hr)
 K_p, K_s : 열관류율 (kcal/m²·°C·hr)
 $A_p (= 2\pi r l)$: 냉각면적 (m²)
 T_c : 설계 관부온도차 (관부온도 - 수온)
 T_r : 설계 근권부온도차 (근권부 지중온도 - 수온)

식 (3)에 의하여 시험베드에 적용될 부분냉방부하는 다음과 같이 산정되어 흡열량 8,780 kcal/hr 로 결정되었다.

$$Q_g = (K_p \times A_p \times T_c) + (K_s \times A_s \times T_r)$$

$$= (83 \times \pi \times 0.018 \times 200 \times 5) +$$

$$(93 \times \pi \times 0.014 \times 200 \times 5) \approx 8,780 \text{ kcal/hr}$$

2) 히트펌프 용량 계산

결정된 부분냉방부하에 의해 식 (4)에 의해 히트펌프 용량을 결정하였다.

$$Q_p = \frac{Q_g \times (1+r)}{Er} \tag{4}$$

여기서 Q_p : 히트펌프 설비용량(kcal/hr)
 Er : 냉방시스템 열이용효율
 r : 안전계수(0.1)

히트펌프 용량은 열이용효율은 일반적인 계수인 0.8을 적용하여 다음과 같이 산정한 결과 4 USRT로 산정되었다.

$$Q_p = \frac{Q_g \times (1+r)}{Er} = \frac{8,780 \times (1+0.1)}{0.8}$$

$$= 12,072 \text{ kcal/hr} \approx 4 \text{ USRT}$$

냉축열조의 용량은 히트펌프 용량이 설계용량보다 큰 5 USRT로 설치하여 히트펌프 용량에 상관없이 완충역할할 수 있도록 1m³ 규모의 냉축열조를 설치하였다.

나. 냉수배관 설치

관부 냉방을 위해 연질의 백색PE관(관경 16 mm)을 이용하여 재배베드에 2줄로 식재되어 있는 딸기묘의 관부(크라운부)에 밀착하여 2줄로 베드상부에 설치하고, 이때 연질PE관 2줄이 베드 중앙쪽으로 위치하도록 배관하고 딸기묘가 바깥쪽을 향하고 있도록 설치하며 베드말단에서는 U자 형태로 연결하여 2줄로 식재된 딸기묘 관부를 냉수의 공급과 회수시 냉방할 수 있도록 설치하였다. 근권부 냉방을 위한 스테인레스 주름관의 설치방법은 지중 10 cm 깊이에 벽면에서 5 cm 정도 이격이 되게 설치하였으며 PE관과 마찬가지로 베드말단에서 U자 형태로 연결하여 2줄로 식재된 딸기묘의 근권부를 냉수의 공급과 회수시 냉방할 수 있도록 설치하였다.

다. 부분냉방시스템 구성

여름딸기 부분냉방기술 개발을 위한 부분냉방시험장치의 전체적인 구성은 Fig. 6과 같으며 공기-물 히트펌프, 냉축열조, 온도제어장치, 냉수배관(백색연질 PE관, 스테인레스 주름관)으로 구분되어 진다.

라. 부분냉방시험 및 효과분석

시험베드는 길이가 50 m 이며 높이가 110 cm로서 1 베드당 ‘샤롯데’ 420 주를 2013년 5월 20일에 정식하여 6월 20일부터 부분냉방을 실시하였다.

시험요인 및 시험조건은 예비시험과 동일하지만 연질 PE관의 피복색을 백색으로 교체하여 Table 5와 같이 시험하였

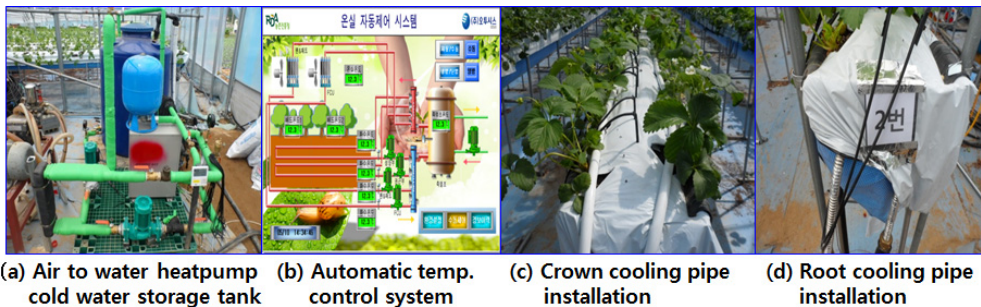


Fig. 6 Spot cooling system configuration for ever-bearing strawberry

Table 5 Cooling conditions of test beds with cooling pipes applied to thermal sensitive spot of strawberry

Test bed No.	Cooling spot (Thermal sensitive spot of strawberry)	Cooling pipe	Nominal diameter (Coating color)	Flow (L/min)
1	Root	SSC pipe	15A (Silver)	10
2	Crown+Root	LDPE pipe (Crown) + SSC pipe (Root)	16 mm (White) + 15A (silver)	10, 5
3	Crown	LDPE pipe	16 mm (White)	10
4	No cooling pipe (Control)	-	-	-

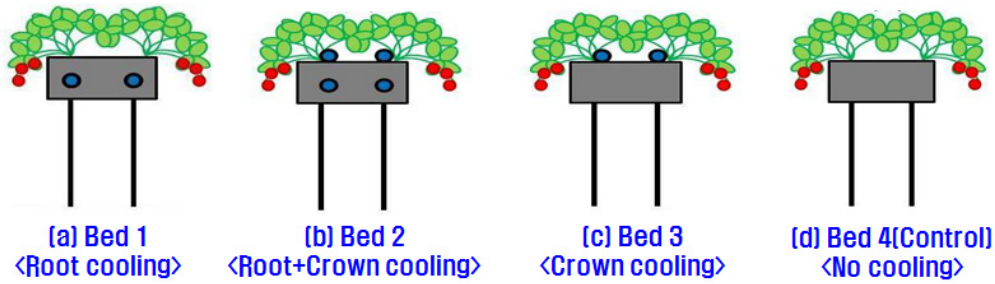


Fig. 7 Experimental conditions for spot cooling of strawberry test beds

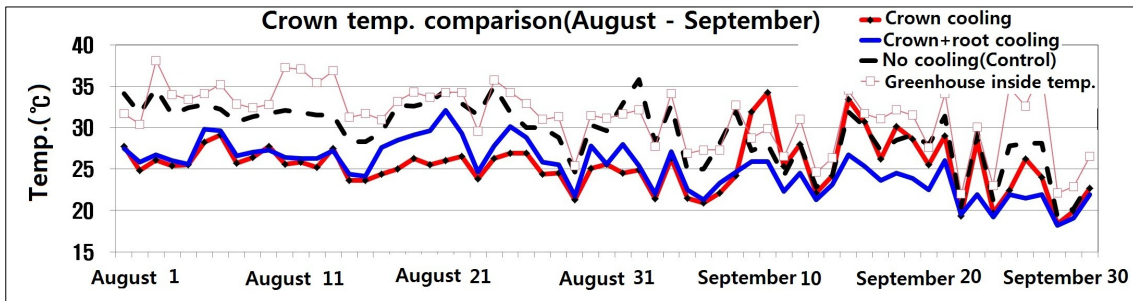


Fig. 8 Maximum crown temperature comparison by cooling conditions in the year of 2013

으며 백색 연질의 PE관을 이용한 관부 냉방(3번 베드), 스테인레스 주름관만을 이용하여 근권부만을 냉방하는 뿌리부 냉방(1번 베드), 관부는 백색연질의 PE관으로 근권부는 스테인레스 주름관을 이용하여 관부와 뿌리부를 동시에 냉방하는 관부+뿌리부 냉방(2번 베드), 냉방처리를 하지 않고 관행적으로 재배하는 시험베드(4번 베드)를 대조구로 하였으며 Fig. 7과 같이 냉수배관을 설치하였다.

냉각수 공급을 위해 냉각수를 저장하는 1m³의 냉축열조를 설치하였으며 냉축열조에서 근권부와 관부에 냉각수를 개별적으로 공급할 수 있도록 순환펌프를 각각 설치하였다. 펌프의 작동여부는 관부와 근권부의 온도에 따라 제어될 수 있도록 제작하였으나 부분냉방효과를 확인하기 위해 24 시간 순환펌프가 작동하도록 제어하여 시험하였다. 근권부의 유량은 관부유량의 50%인 5 L/min이 되게하여 예비시험과 유사한 냉방효과가 적용되도록 하였고 관부는 10 L/min이 순환되도록 하여 예비시험과 유사한 냉방효과가 적용될 수 있도록 하였다. 또한 역환원식 배관방법을 적용하여 시험베드별 배관의 입출구 온도가 거의 비슷하게 유지될 수 있도록 하였다.

냉방효과를 분석하기 위해 관부온도 및 뿌리부 온도를 TR-71U 온도센서를 설치하여 시험베드별로 10분 간격으로 측정하여 온도저감효과를 분석하였고 8월부터 9월까지 시험베드별 수확량을 일별로 조사하였으며 10일 간격으로 누적 증수율을 분석하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 부분냉방 온도 저감 효과

관부냉방시 관부의 일최대온도는 8월만을 비교해볼 때 평균적으로 25 °C를 나타내어 냉각수 온도 20 °C와 5 °C 정도 차이를 나타내었고 무처리구의 관부 최대온도가 32 °C 인것과 비교하면 7 °C의 냉방효과가 있는 것으로 나타났으며 8월에서 9월까지 평균적으로 19~24 °C를 나타냈고 무처리구에 비해 3 °C의 냉방효과를 나타냈다. 또한 관부+뿌리부를 동시에 냉각한 관부의 최대온도는 평균적으로 26 °C로서 관부만을 냉각한 관부온도보다 약간 높게 나타났으며 평균온도는 관부 냉방을 한 관부온도와 유사하게 나타났으며 그 결과는 Fig. 8과 같다. 이는 지상부 냉각인 관부 냉각은 차가운 공기가 아래쪽으로 이동되고 있어 관부냉각에는 불리한 것으로 판단되었다. 뿌리부 온도는 최대와 최소의 변동이 크지 않아 평균온도를 가지고 분석하였으며 뿌리부 냉방처리를 한 뿌리부의 평균온도는 8월에 22 °C를 나타내었고 무처리구의 뿌리부 평균온도는 25 °C를 나타내어 평균적으로 3 °C의 냉방효과를 보였으며 8월에서 9월까지의 평균적으로 18~23 °C를 나타내었다. 관부와 뿌리부를 동시에 냉각한 베드의 뿌리부 온도는 8월에서 9월까지 평균적으로 17~22 °C를 나타내어 뿌리부만을 냉방한 뿌리부의 온도보다 1 °C가 낮게 나타나 그 결과는 Fig. 9와 같으며 지상부인 관부의 냉각이 뿌리부의 냉각에도 영향

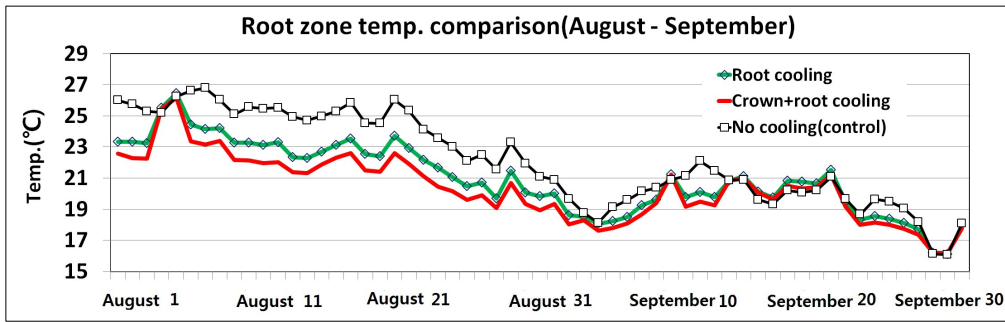


Fig. 9 Average root zone temperature comparison by cooling coditions in the year of 2013

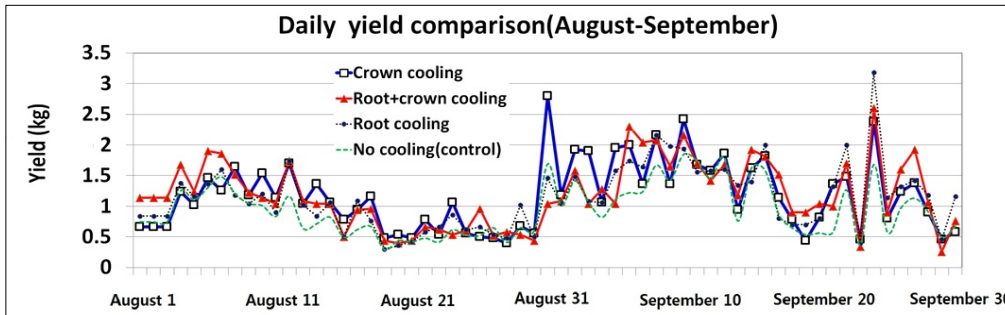


Fig. 10 Daily yield comparison by cooling conditions in the year of 2013

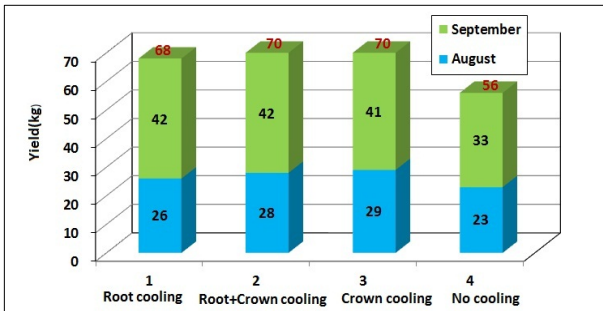


Fig. 11 Accumulated daily yield comparison by cooling condition in the year of 2013

을 미치는 것으로 판단되었다. 또한 Fig. 8에서 알 수 있듯이 시스템 오류에 의한 급격한 온도변화부분은 제외하고 비교적 안정적으로 냉방시험이 수행된 기간을 중심으로 분석하였다.

2. 수확량 증대효과

시험베드별 여름딸기의 일별 수확량을 조사하여 비교하였으며 그 결과는 Fig. 10 과 같으며 냉방처리별 8월과 9월의 일별 누가증수량이 Fig. 11과 같다. Table 6에서 알 수 있듯이 8월말 관부냉방처리를 한 3번 베드의 일별수확량에 대한 누가증수율이 26 %로서 가장 많았으며, 근권냉방처리를 한 1번

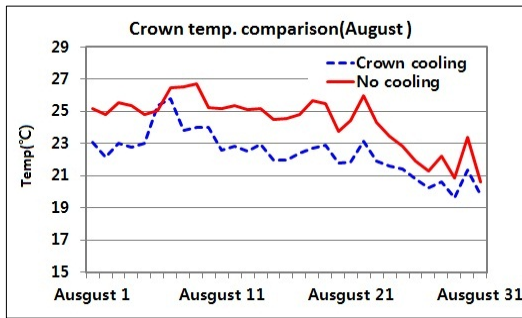
Table 6 Accumulated 10-day yield growth rate (%) according to cooling conditions

Time	Cooling zone		
	Root	Crown+Root	Crown
Early August	11	33	11
Mid-August	13	31	25
Late August	13	22	26
Early September	17	22	28
Mid-September	15	23	26
Late September	21	25	25

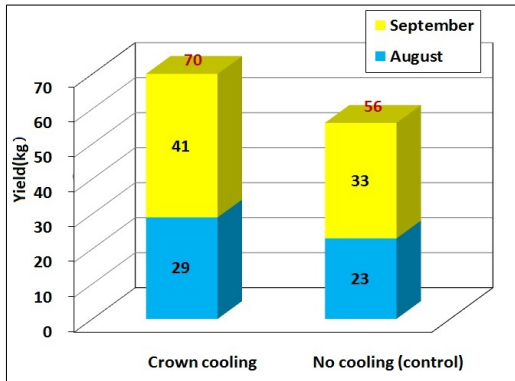
베드의 8월말 누가증수율은 13 % 로서 가장 적은 것으로 나타났다. 9월말까지의 누가 증수율은 관부냉방처리를 3번 베드와 관부와 뿌리부를 동시에 난방한 2번 베드가 25 % 로서 가장 많은 것으로 나타났지만 여러 가지 경제적인 부분을 고려한다면 7, 8월의 혹서기에 가장 효과적인 냉방처리방안은 연질 PE관을 이용하여 관부냉방을 하는 것이 가장 유리한 것으로 나타났다.

3. 관부냉방효과

냉방효과는 혹서기인 8월에 무처리에 비해 관부의 온도를 약 3 °C 낮추어 일평균 관부의 온도를 19~24 °C 를 유지하여



(a) Temperature reduction



(b) Yied growth

Fig. 12 Ever-bearing strawberry crown cooling effect by using LDPE pipe

고온에 의한 스트레스피해를 줄이고 8월의 생육환경을 개선하여 9월에도 수확량의 증대로 이어진 것으로 판단되었다. 또한 지하부인 근권부는 특별한 냉방처리를 하지 않아도 양액 및 관수에 의해 지중온도를 저하시켜 고온피해를 줄일수 있는 반면에 지상부에 대한 고온피해를 줄일수 있는 방법은 제한적이어서 지상부 성장부에 대한 냉방처리가 요구되는 것으로 판단되었다. 히트펌프를 사용하는 것은 경제적으로 부담이 될 수도 있으므로 하절기 강수량이 풍부한 지역에서는 지하수, 계곡수를 이용하여 여름딸기의 관부를 냉방한다면 경제적으로 매우 유리할 것으로 판단하였다.

IV. 결 론

여름딸기 재배는 대관령, 무주 등 고랭지의 온실에서 고설베드재로 이루어지고 있으며 4월에 정식하여 6월 중순부터 11월 중순까지 생산하고 있으며 혹서기인 7~8월에는 고온 스트레스에 의한 생육장해가 발생하고 수확량이 감소되어 그 피해가 크다. 이를 해결하기 위해 냉방이 요구되나 전체적인 공간냉방방식은 경제성이 낮아 보다 효율적인 냉방기술로서

재배작물의 온도 민감부분인 관부와 뿌리부만을 냉방하는 기술을 개발하고자 하였다. 시험방법은 히트펌프 또는 지하수로 생성된 15 °C의 냉수를 냉축열조에 저장하였다가 냉수배관을 통해 관부, 관부+뿌리부, 뿌리부를 냉방하는 방식으로 냉방처리를 하였으며 냉방효과 분석 결과 관부냉방시 관부의 평균온도는 8월에서 9월까지 평균적으로 19~24 °C를 나타냈고 무처리구에 비해 3 °C의 냉방효과를 나타냈다. 또한 관부+뿌리부를 동시에 냉각한 관부의 최대온도는 평균적으로 19~25 °C로서 관부만을 냉각한 관부온도와 유사하게 나타났다. 뿌리부 냉방처리를 한 뿌리부의 평균온도는 8월에서 9월까지의 평균적으로 18~23 °C를 나타내어 무처리구의 뿌리부 평균온도보다 3 °C의 냉방효과를 나타냈다. 관부와 뿌리부를 동시에 냉각한 베드의 뿌리부 온도는 8월에서 9월까지 평균적으로 17~22 °C를 나타내어 뿌리부만을 냉방한 뿌리부의 온도보다 1 °C가 낮게 나타났다. 8~9월의 냉방효과는 시험요인에 따라 수확량의 증가로 나타났으며 9월말까지의 누적중수율이 관부냉방 및 관부+뿌리부 냉방은 25 %, 뿌리부 냉방이 21 %로 나타났다. 온도저감효과, 수확량 증대효과 경제성을 모두 고려해 볼 때 연질의 PE관과 지하수 등을 이용하여 여름딸기의 관부를 냉방하는 것이 가장 경제적이고 효율적인 여름딸기 부분냉방기술로 판단되었으며 여름딸기뿐만 아니라 재배작물별 부분냉방기술에 대한 보다 폭넓은 연구수행이 필요한 것으로 판단되었다.

사 사

본 연구는 농촌진흥청 국립농업과학원 농업과학기술 연구개발사업 (과제번호:PJ00852401)의 지원에 의해 이루어진 것임.

REFERENCES

1. 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(1): 14-19 (in Korean)
2. 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'. *journal of Bio-Environmental Control* 20(2): 116-122(in Korean)
3. 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(4):183-188(in Korean)
4. 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(4):189-194(in Korean)
 5. 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 Conference*, 44-47(in Korean)
 6. Lee, J. N., J. G. Lee, E. H. Lee, H. J. Kim, and S. W. Jang, 2010. Breeding of New Ever-bearing Strawberry 'Gangha' for Summer Culture, *Korean Journal of Horticultural Science and Technology* 28(3): 515-518(in Korean)
 7. 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(6):400-405 (in Korean)
 8. Nam, S. W., 2002. Estimation of Soil Cooling Load in the Root Zone of Greenhouses, *Journal of Bio-Environment Control* 11(4):151-156(in Korean)
 9. 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(1): 11-18(in Korean)
 10. 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(3):123-129(in Korean)
 11. Ryou, Y. S., Y. G. Kang, Y. J. Kim, and K. C. Kang, 2008. Heating and Cooling Effect of Protected Horticulture by Geothermal Heat Pump System with Horizontal Heat Exchanger, *Proceedings of the 2008 spring annual conference of The Korean society for New and Renewable Energy*, 630-633(in Korean).