

116067
-03

병버섯재배사 방출에너지 활용 딸기 연중생산시스템 개발 및 산업화 최종보고서

농림축산식품부

농림식품기술기획평가원

보안 과제(), 일반 과제() / 공개(), 비공개() 발간등록번호()

첨단생산기술개발사업 제3차 연도 최종보고서

발간등록번호

11-1543000-002563-01

병버섯 재배사 방출에너지 활용 딸기연중생산시스템 개발 및 산업화 최종보고서

2018. 12.

주관연구기관 / (주)레드엠
협동연구기관 / 경기도농업기술원

농림축산식품부
농림식품기술기획평가원

제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

본 보고서를 “병벼섯 재배사 방출에너지 활용 딸기 연중생산시스템 개발 및 산업화
(개발기간 : 2016. 9. 5 ~ 2018.12.31)과제의 최종보고서로 제출합니다.

2018 . 12 . 31 .

주관연구기관명 : (주)레드엠 (대표자) 김 인 철

협동연구기관명 : 경기도농업기술원 (대표자) 김 석 철



주관연구책임자 : 김인철

협동연구책임자 : 정윤경

국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제18조에 따라
보고서 열람에 동의 합니다.

보고서 요약서

과제고유번호	116067-03	해 당 단 계 연 구 기 간	2016.9.5. - 2018.12.31	단 계 구 분	3/3
연구사업명	단 위 사 업	농식품기술개발사업			
	사 업 명	첨단생산기술개발사업			
연구과제명	대 과 제 명	(해당 없음)			
	세부 과제명	병버섯 재배사 방출에너지 활용 딸기연중생산 시스템 개발 및 산업화			
연구책임자	김인철	해당단계 참여 연구원 수	총: 명 내부: 명 외부: 명	해당단계 연구개발비	정부: 천원 민간: 천원 계: 천원
		총 연구기간 참여 연구원 수	총:34명 내부:23명 외부:11명	총 연구개발비	정부:373,000천원 민간:104,500천원 계:477,500천원
연구기관명 및 소속부서명	(주)레드엠/경기도농업기술원			참여기업명	
요약					보고서 면수
<ul style="list-style-type: none"> - 버섯재배사에서 방출되는 열원과 이산화탄소 활용하는 딸기하우스 설치 - 버섯재배사와 딸기하우스를 연결하는 공조시스템 설치 - 버섯재배사 방출공기 활용 국부냉방장치 설치 - 딸기하우스 내 각종 환경조사용 센서 포설 및 수집 - 고온기 국부냉방장치를 이용한 딸기하우스 국부 냉방부 온도 조절 - 버섯 호흡에 의해 발생하는 이산화탄소 발생량 측정 - 버섯재배사 이산화탄소 발생량에 따른 버섯재배사 환기량 산출 - 버섯재배사의 규모(입병수 기준)에 따른 적정 규모의 딸기 재배 면적 산출 - 요구하는 딸기재배면적에 따른 버섯재배사의 규모(입병수 기준) 산출 - 버섯재배사 방출공기 활용 국부냉방장치 설치 - 원통형 다단시스템 개발 및 설치 - 딸기하우스내 각종 환경조사용 센서 포설 및 수집 - 고온기 국부냉방장치를 통한 딸기 엽온 25℃이하 유지 가능 - 버섯재배사 방출공기 함유 이산화탄소를 통한 과피색 향상 - 버섯재배사 방출공기 함유 이산화탄소를 통한 정상과 및 품질 향상 - 저온기 보조난방 추가 설치 필요 제안 					81

<국 문 요 약 문>

	코드번호	C-01			
연구개발내용	<ul style="list-style-type: none"> ○ 병버섯 재배사 방출 에너지 전달 덕트 및 제어시스템 개발 ○ 방출에너지 활용 딸기 국부냉난방 베드 및 재배시스템 구축 ○ 버섯재배사 방출에너지 활용 딸기 연중재배 기술 개발 				
연구개발성과	<ul style="list-style-type: none"> ○ 고온기 여름철 에너지 투입 없이 병버섯 재배시 방출되는 공기 활용 딸기 연중재배 가능 <ul style="list-style-type: none"> - 딸기 근권부 온도 유지 25℃내외 - 딸기 재배 작기 증가 : 1기작 → 2기작/년 ○ 원천 특허기술 확보 : 3건(버섯, 딸기 복합재배시스템 개발관련 기술 등) ○ 논문게재 : 2건(Effects of production of ever-bearing strawberries using cool air from mushroom cultivation house 등) ○ 논문발표 : 2건(버섯재배사 방출에너지활용 딸기연중생산 시스템소개 등, 한국생물환경조절학회지) ○ 인력양성 : 1명(버섯종균기능사 육성) ○ 신규인력채용 : 8명(딸기재배 및 온실관리 등) ○ 언론홍보 : 40회(TV7, 일간지20, 전문지5, 매거진8) <ul style="list-style-type: none"> - 신선한 딸기 일년내내 맛보세요! : 20회(TV2, 일간지9, 전문지1, 매거진8) - 일석삼조 버섯·딸기 복합 재배...사계절 수확 : 8회(TV4, 일간지1, 전문지2 등) - 버섯재배사 방출공기 활용 딸기재배기술 : 12회(일간지 10, 전문지 2) - 원통형 다단 시스템 소개 : 1회(아리랑 TV) 				
활용계획 및 기대효과	<ul style="list-style-type: none"> ○ 원통형 다단베드 활용 딸기 재배 생산성 향상 <ul style="list-style-type: none"> - 관행재배(고설베드) 대비 밀식재배 가능 : 생산성 2배 이상 증가 - 딸기생산량 : 관행 3.8톤 → 7톤/10a/년 ○ 버섯, 딸기 복합재배 시스템 보급 및 농가소득 향상 <ul style="list-style-type: none"> - 전국 38개소 이상 보급 예상 - 신규 소득 규모 : 115,500천원(2기작/10a 기준) ○ 여름딸기 생산으로 여름딸기 수요 충족 및 수입물량 대체 <ul style="list-style-type: none"> - '15년 385톤 → 22년 1,525톤 ○ 버섯, 딸기 복합재배 성공적인 창조농업모델 제시 <ul style="list-style-type: none"> - 농업작목간 또는 타 산업간 융복합농업 기술발전 계기 제공 				
국문핵심어	병버섯재배사	방출에너지	딸기재배	국부냉·난방	복합생산시스템

<SUMMARY>

	코드번호	C-01			
Purpose & Contents	Development of combined agricultural new farming system using emitting from mushroom cultivation house to a strawberry plastic house. ○ Development of emitting energy from mushroom cultivation house transfer duct and control system ○ Emitting energy utilization Strawberry local heating & cooling bed and cultivation system construction ○ Development of production of ever-bearing strawberries using cool air from mushroom cultivation house				
Results	○ Use of air emitting from mushroom cultivation house without energy input in summer Strawberries can be cultivated throughout the year - Keep temperature of strawberry rhizome at around 25 °C - Increase of strawberry cultivation: 1 mechanism → 2 mechanism / year ○ Development of securing source patent technology : 3 cases - technology related to mushroom and strawberry combined cultivation system development etc. ○ Paper Publication: 2 (Effects of production of ever-bearing strawberries using cool air from mushroom cultivation house etc.) ○ Paper presentation: 2 cases (introduction of production system of strawberry all year round using mushroom grower energy release, Journal of the Korean Society for Bio-Environment Control) ○ Human resource training : 1 person ○ New recruitment: 8 (strawberry cultivation and greenhouse management) ○ Press PR : 40 times (TV7, 20 daily newspapers, 5 magazines, 8 magazines)				
Expected & Contribution	○ Cylindrical bed utilization strawberry cultivation productivity improvement - Practical cultivation (high grade bed) compared to cultivable: productivity more than 2 times - Strawberry production: custom 3.8 tons → 7 tons / 10a / year ○ Mushroom and strawberry compound cultivation system spread and farm income increase - Expected to supply more than 38 locations nationwide - New income scale: 115,500 thousand won (based on 2 mechanisms / 10a) ○ Summer strawberry production to meet summer strawberry demand and substitute import volume - '15 years 385 tons → 22 years 1,525 tons ○ Combined mushroom & strawberry cultivation successful creative agricultural model - Provision of agricultural technology development opportunities between agricultural crops or other industries				
Keywords	Mushroom cultivation house	Emitted energy	Strawberry cultivation	Local air-conditioning unit and duct	Complex production system

〈Contents〉

01. Overview of research and development	7
02. Present status of technical development at domestic and abroad ..	13
03. Research contents and results	14
04. Goal achievement and contribution to related fields	65
05. Application plan of results	67
06. International science and technology information obtained during the research	68
07. Security level of results	69
08. Present status for the facilities and equipments of the research center ..	70
09. The actual implementation of safety measures	71
10. Representative research achievements of research and development ..	73
11. The others	74
12. Cites literatures	80

< 목 차 >

01. 연구개발과제의 개요	7
02. 국내외 기술개발 현황	13
03. 연구수행 내용 및 결과	14
04. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도	65
05. 연구결과의 활용 계획 등	67
06. 연구과정에서 수집한 해외과학기술정보	68
07. 연구개발 성과의 보안등급	69
08. 국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비현황	70
09. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등이 안전조치 이행실적	71
10. 연구개발과제의 대표적 연구실적	73
11. 기타사항	74
12. 참고 문헌	80

1장. 연구개발과제의 개요

1-1. 연구개발 목적

- 병벼섯 재배시 외부로 방출되는 일정 온도와 CO₂를 함유한 공기를 딸기재배에 활용하기 위해 여름철, 겨울철 딸기 근권 국부 냉·난방에 적절히 활용할 수 있는 재배용시스템을 개발함을 주 내용으로 하고 있으며, 이를 통해 에너지절감은 물론, 내수 및 수출용 딸기 수요를 충족시키고, 딸기와 벼섯의 성공적인 복합영농 재배모델을 제시하고자 함

1-2. 연구개발의 필요성

가. 작물선정

- 우리나라의 딸기 시설재배면적은 2003부터 7,230ha에서 조금씩 감소하고 추세이며, 2010년 6,841ha로 줄었다가 2016년도 6,306ha로 감소폭이 적어지는 경향을 보이고 있음
- 달콤한 과일을 쉽게 먹을 수 있다는 장점을 가진 딸기의 생과 소비량 증가와 주식을 밥 대신 빵과 디저트등을 선호하는 젊은층의 소비 패턴으로 수요량이 증가하고 있음
- 우리나라에서는 주로 겨울철 일계성 딸기가 11월부터 다음해 5월까지 생산량이 급증하며 베이커리, 디저트, 데코레이션 등에 사용되는 여름철에는 국내 재배면적인 353ha로 거의 생산하기 어려운 기후 여건으로 매년 수입에 의존하여 냉동딸기로 소비하고 있는 실정임
- 특히 고온기인 여름철에 사계성 딸기를 생산할 수 있는 새로운 시도가 필요한 시점임

나. 국내 기술 수준

가) 국내 기술 현황

- 우리나라 딸기재배 역사는 비교적 짧지만 지난 10년간 지속적 정책지원과 R&D 투자를 통한 우수 국산품종 개발과 다양한 재배작형 등의 기술개발은 딸기산업 성장의 원동력이 되어 세계 6위의 딸기 생산국가로 성장하였음.
 - 10년간 169억원의 딸기 육묘생산 시설 및 전업농가 육성사업 추진 결과, 딸기 원묘, 보급묘 생산단지가 구축되어 딸기묘를 원활하게 공급할 수 있게 되었음
 - '17년말 현재, 국내육성 딸기품종은 35종이며, 국산품종 보급률이 90%를 넘어섰고, 국산품종의 부족으로 외국품종 의존에 따른 로열티 문제는 상당부분 해결되었음
 - 토경 대신 시설내 고설수경재배 기술 보급으로 약성노동력을 크게 경감하고 수량의 획기적 증대가 가능
 - 노동력 감소 : ('11, 토경재배) 156 → ('13, 수경재배) 111 시간/kg
 - 수량성 향상 : ('11, 토경재배) 3,000 → ('13, 수경재배) 4,143/10a
 - '06년 딸기수출사업단이 발족되어 딸기수출목표 1억불 달성을 위해 수출용 딸기신품종 육성 및 선발, 수출 품종 우량묘 대량생산 및 보급, 재배관리 매뉴얼 및 현장애로기술 개발 등 연구개발과 생산농가 현장기술지원이 체계적으로 이루어지고 있음.
- 벼섯산업은 1990년초 병벼섯 재배기술과 자동화장비 개발·보급으로 획기적 발전을 이루었고, 세계 최고 기술수준에 도달하였음.

- 다투리버섯, 팡이버섯, 새송이버섯 등 3대 주요버섯의 병버섯 재배기술개발로 병버섯 생산비중이 전체 버섯생산량의 70%이상 차지함
 - 병당 수량은 다투리 200g, 팡이버섯 250~300g, 새송이버섯 200~220g으로 버섯선진국 일본을 능가하는 기술수준을 확보하고 있음
 - 병버섯 자동화 기계장비를 국내 독자기술로 개발 및 생산하고 있으며, 유럽, 중국 등 해외로 수출되고 있음
- 병버섯은 전국 약 300여 농가에서 재배되며, 평균 생산규모는 10,000병/일(호당 연간 500톤 생산)로 농업의 기업화가 되어 있음.
- 병버섯 재배시 재배사 내부 환기과정에서 일정한 온도와 CO₂가스를 함유한 공기가 외부로 방출되고 있으며, 방출되는 공기온도는 15~19℃, CO₂가스 농도는 500~3,000ppm 정도로 딸기 재배에 접목시 적합한 환경조건을 갖추고 있음.
- 병버섯 재배사 부가적으로 생성되는 에너지 자원 중 배지 살균시 발생하는 폐열 일부를 다시 회수하여 재사용하는 기술('02, 경기도농업기술원)과 미송톱밥내 수지성분의 제거를 위해 활용하는 기술('00, 경기도농업기술원)이 개발되었으나, 균배양 및 생육시 배출되는 에너지 재활용에 관한 연구 또는 사례는 없음.

나) 국내 시장현황

- 딸기는 농가의 주요 소득작물로서 원예산업을 주도하고 있으며, 최근 생산규모는 감소하는 추세이나 생산액은 증가하고 있음
- 생산액 : ('04) 6,432 → ('16) 13,964억원(국내 농업생산액 481,1704억원의 2.9% 차지)
 - 재배면적 : ('11) 6,190 → ('16) 5,978ha → ('18)5,969ha
- 대내외 수출여건 악화에도 불구하고 수출이 지속적으로 증가하고 있고, 사계성 딸기 중심으로 국내 고온기로 인한 생산량 감소로 수입액이 매년 증가추세임
- 수출액 : ('04) 4.2 → ('16) 34.0백만불
 - 수입액('15) : 16.3백만불(경기도 약 66만불)
 - 주요수출시장 : 홍콩, 싱가포르 → 동남아시아, 러시아, 일본 등
- 딸기는 일계성딸기와 사계성딸기로 구분되며, 국내생산량의 약 90%이상이 일계성딸기로 12월~5 월 사이에 대부분 생산됨
- 여름철 재배되는 사계성딸기는 주로 평창, 삼척, 무주 등 고랭지 지역 일부에서만 생산되나 국내수요를 감당할 수 없을 정도로 소량 생산되며, 이들 지역을 제외한 타 지역은 여름철 높은 온도 때문에 재배가 어려운 실정임.
- 여름철에 생산하는 딸기(사계성딸기)생산량은 약 385톤('16)으로 전체 딸기생산의 약 0.3%에 불과하고, 일계성딸기가 생산되지 않는 6월~11월에는 국내생산량보다 수입되는 양이 약 25배 많으며, 수입되는 딸기는 제빵 등에 데코레이션용, 가공용으로 주로 활용됨.

- 국내딸기 생산공급 부족으로 해외에서 들여오는 수입량은 연간 9,165톤('14, 한국무역협회)에 달하며, 대부분 중국으로부터 수입되고 있어 안정성에 논란의 여지가 있음.
- 여름철 국내딸기 수요충족은 물론, 수입물량 대체, 해외수출을 위해 여름철에도 딸기를 생산할 수 있는 기술개발은 반드시 필요하나, 국내 기후 온난화로 인한 고온기 시설내 온도하강에 필요한 냉방 에너지 비용 등이 과도하게 소요하므로 경제성이 낮아 이에 대한 기술개발 시도와 성과가 미흡한 실정임.
- 국내 고온기인 6월~10월에는 생산량이 극히 적어 국내·외적으로 시장가격이 고가로 형성되고 있으며, 국내에서는 2배 이상 높고, 특히, 일본 수출시장에서는 3~4배 이상 높아 단정기에 고소득을 기대할 수 있어 버섯재배시 발생하는 다량의 고품질 에너지를 고온기 딸기생산에 활용할 수 있는 기술개발이 시급히 요구됨.
- 딸기는 저온에 잘 견디는 작목이기는 하나, 겨울철에 소량의 난방이 필요한 실정으로 평균 1,032천원(1기작/10a)의 난방비용이 소요되는 것으로 분석됨.('14, 농촌진흥청)
- 버섯은 자동화 및 규모화로 생산량이 급격히 증가함에 따라 가격이 하락하는 추세임
 - 농산버섯 생산량 : '92년, 69,000톤 → '17년 149,890톤
 - 평균가격 동향
 - 팡이버섯 : '00년, 2,500 → '17년, 1,923원/kg,
 - 느타리버섯 : '00년, 4,500 → '17년, 2,088원/kg
 - 새송이버섯 : '00년, 5,000 → '13년, 2,500원/kg
- 딸기 생산량 증가와 가격하락으로 어려움을 겪고 있는 국내 버섯산업 경쟁력 유지를 위해서는 버섯재배 방출에너지 재활용 및 딸기 등 타작목과의 복합영농재배 시스템 개발 등 신기술 개발과 적용이 필요함
- 경기도농업기술원 개발 딸기 원통형 다단베드시스템(특허출원)에 버섯재배사의 방출 공기를 활용하여 딸기하우스에 공급하는 국부냉방시설과 비닐 패드등을 추가로 설치하여 년 1회 일계성 딸기재배에만 올인하고 있는 국내 딸기작부 체계에 사계성딸기를 고온기에 재배하여 연중 딸기를 생산할 수 있는 방안을 마련코자 수행하였음

다) 국외 시장현황

- 전세계 딸기 재배면적은 244,203ha로 폴란드 46,813ha(19.2%), 러시아연방 27,000ha (11.1%), 미국 23,183ha(9.5%), 독일 15,004ha(6.1%), 터키 12,793ha(5.2%) 순으로 많으며, 우리나라는 6,436ha(2.6%)로 10위를 차지하고 있음('12, FAO)
- 또한, 딸기 생산량은 453.2만톤이며, 미국 136.7만톤(30.2%), 멕시코 36만톤(8.0%), 터키 35.3만톤(7.8%), 스페인 29만톤(6.4%), 이집트 24.2만톤(5.3%)순이며, 우리나라는 19.2만톤 (4.2%)로 6위를 차지하고 있음('12, FAO).

- 딸기 주요 수출국은 스페인 770천톤, 미국 232천톤, 멕시코 77천톤이며, 우리나라는 3천톤 정도로 19위를 차지하고 있음('13, FAO)
- 한국산 딸기는 홍콩, 싱가포르, 태국, 말레이시아 등 동남아시아 국가들 중심으로 수출이 되고 있으며, 싱가포르의 경우 한국산 딸기 수입비중이 40%가 넘고, 한류와 K-푸드 붐과 함께 한국산 농식품들이 안정성을 인정받으면서 동남아시아 국가들로부터 딸기수입량이 지속적으로 늘어날 것으로 예상됨

1-3 연구개발 범위

가. 연구개발 목표

- 병버섯 재배 방출에너지를 활용한 고 생산성 에너지 절감형 딸기재배시스템 개발
 - 병버섯 재배사 방출되는 에너지를 딸기 근권부 냉·난방에 적용할 수 있는 베드 및 근권부 국부 냉·난방 시스템 개발
 - 병버섯 재배사 방출에너지 용량에 맞는 적정 딸기재배 규모 설정
- 방출된 공기에 포함된 CO₂가 품질에 미치는 영향
- 고온기 딸기 안정적 생산 및 연중 생산기술 확립
- 버섯, 딸기 복합영농모델 보급 및 실용화

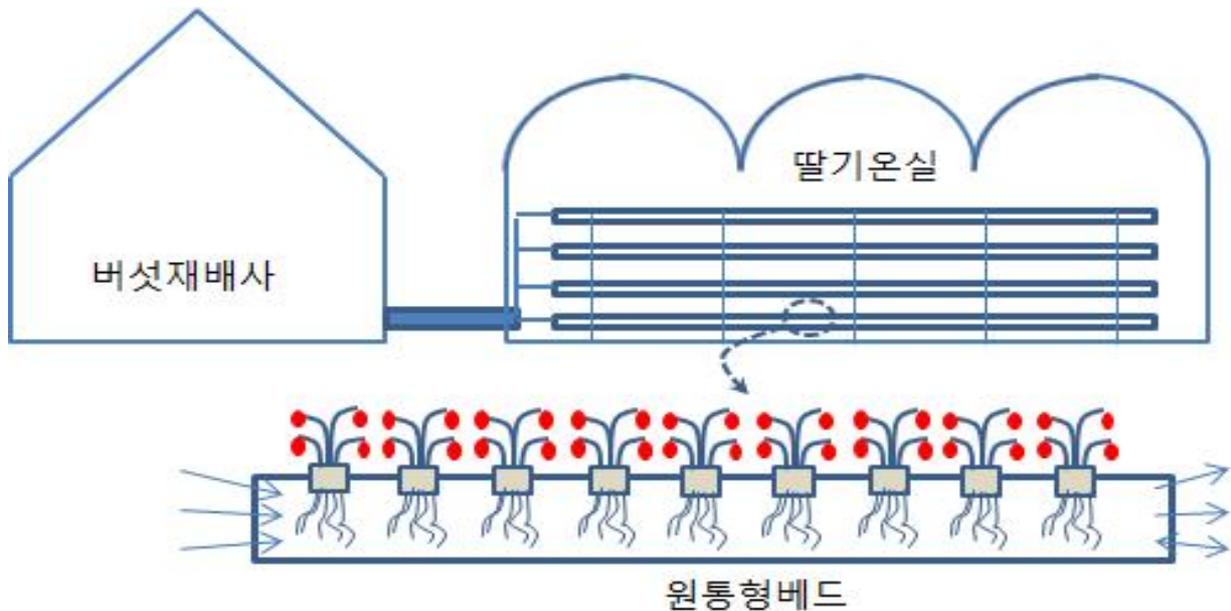
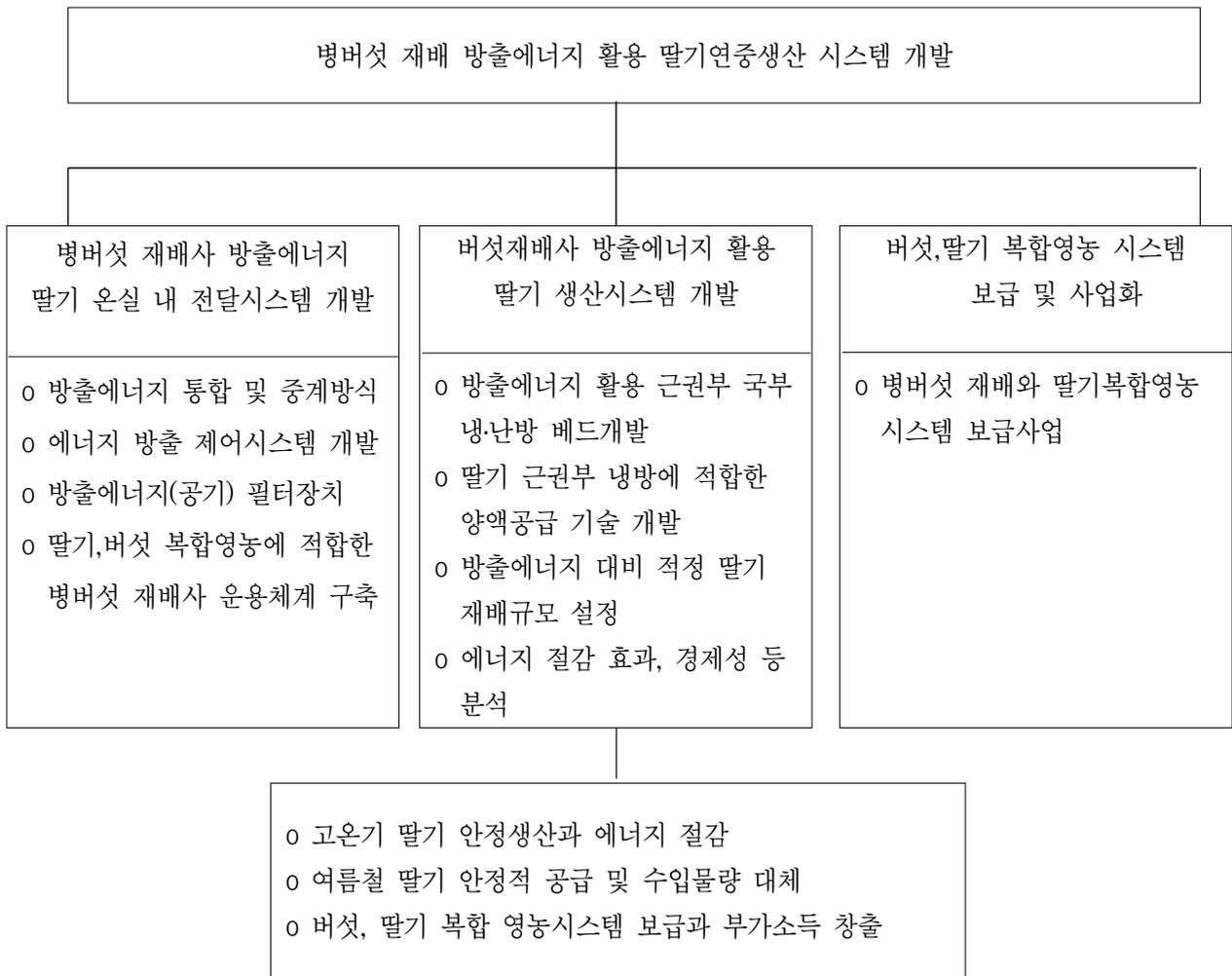


그림 1 기존 원통형 다단 시스템 개념도

나. 연구개발 체계



다. 연구범위

- 최근, 국내시장 및 해외시장에서의 수요가 증가하고 있는 딸기를 여름철 고온기 뿐만 아니라, 연중 안정적으로 생산할 수 있는 기술을 개발함에 있어, 타작목인 (버섯)에서 부가적으로 생산되나 재활용되지 않고 외부로 방출되는 에너지를 재활용(recycling)함에 따라 에너지 비용을 대폭 절감할 수 있음.
- 딸기 재배시스템은 원통형 다단베드와 포트배지 및 분무경 재배방식을 적용할 예정으로 식재밀도를 관행 재배 대비 최소 3배 이상 높일 수 있어 높은 생산성이 기대됨.
- 여름철과 겨울철에 주기적인 공기방출을 통한 냉방과 이산화탄소 농도 유지로 고품질 딸기를 연중생산 할 수 있는 기반 마련으로 딸기산업 규모가 확대되고 고용확대와 관련 산업 활성화가 기대됨
- 또한, 생산량 증가와 가격하락으로 경영에 어려움을 겪고 있는 병버섯 재배농가가 유�휴부지, 또는 근접토지를 매수하여 딸기재배시설을 직접 설치·운영할 수 있어 부가소득원 창출과 경영여건 개선 효과를 높일 수 있음.

- 딸기 원통형 다단베드 재배시스템은 원통내부에 있는 딸기 근권부에 국부적으로 냉난방을 할 수 있는 방식으로 도심쓰레기 소각장, 화력발전소 등에서 발생하는 폐열택배 시스템을 활용하거나 식물공장에 응용하는 등 그 적용범위가 광범위할 것으로 예상된다.
- 세계 무역시장 개방과 무한경쟁 시장체제에서 국내 딸기 및 버섯산업 경쟁력을 확보할 수 있고, 고온기 딸기 수요의 충족, 수입물량 대체 효과 등 많은 파생효과를 기대할 수 있는 과제임

2장. 국내외 기술개발 현황

가. 국내 특허기술 현황

- 국내 관련 특허기술 현황을 조사한 결과, 본 연구과제의 핵심기술인 병버섯류 배양과 재배시 방출 에너지를 딸기 재배에 활용함에 있어 근권부의 국부 냉방용으로 활용하는 기술과 연관된 특허출원, 등록 기록은 없었으며, 다만, 다단식 베드, 분부경 재배 등 딸기 재배에 적용되고 있는 일반적인 기술에 대한 특허는 5건 있었음
 - 비닐하우스 또는 온실내 단위면적당 생산량을 늘이기 위해 다단식 재배 베드에 관한 특허기술이 개발되어 있음('03, 황대연 등), ('06, 서동환), ('13, 이근호)
 - 엽채류 수경재배시 여름철 고온기 근권부 온도상승 억제, 근권부에 원활한 산소공급을 통한 호흡개선, 성장개선, 세균 등에 의한 부패방지 등을 위해 양액 분무식 수경재배 장치에 관한 특허기술이 개발되어 있음('02, 양순모), ('13, 신대은 등).

나. 국외기술 현황

- 딸기 수경재배는 1970년대 후반부터 일본에서 실용화를 시도하여 다양한 방식의 수경 재배기술이 개발되었고, 담액수경이 아닌 NFT, 암면배지를 활용 하였고('88, Udagawa) 이후 피트모스, 코코피트, 질석 등의 각종배지를 단용 또는 혼용한 고품배지 방식이 주류를 이룸.
- 네덜란드에서는 체계적인 육묘관리와 포트를 이용한 재배방법을 접목하여 한 작기가 완료된 즉시 신규 생육묘의 이식으로 휴경기간을 최소화하고 재배횟수 연장을 통해 연중 생산하는 기술을 개발중임.
또한, 지열히트펌프 기반 에너지 스마트관리 시스템을 개발하여 에너지 절감형 딸기연중 생산기술을 개발하고 있으나, 지열히트펌프 초기 시설 투자비용이 높아 현실적으로 보급 확산에 어려움이 있을 것으로 판단됨 .
- 또한, 네덜란드에서는 사계성 여름딸기생산을 위해 품종별 전용 배양액 개발, 지속적관리 및 처방, 고도의 환경관리로 우리나라 대비 30~40% 이상 높은 수확량을 보임.
- 일본도 사계성 여름딸기 품종별 전용 배양액이 개발되어 있으며, 생육조건에 따른 관리 방법 등이 매뉴얼화 되어 있음.
- 센싱 및 ICT 융복합 기반 딸기 수경관리기술은 우리나라의 경우 연구초기 단계이나, 네덜란드 등 유럽 선진국에서는 관련 S/W, 빅데이터의 축적, 시설장비 등에 관한 높은 기술력을 보유하고 있음.
- 전세계적으로 딸기를 포함한 10ha 이상의 대형 시설채소 회사(농가)는 220여 개소가 상업적으로 운영되고 있으나 우리나라에는 대형시설농가가 한 곳도 없는 실정이며, 이러한 현실에서 시설의 수직 집약화, 타작목과의 융복합재배 시스템 개발 등은 시설 채소산업 경쟁력 제고를 위해 필요한 과제임.

3장. 연구수행 내용 및 결과

【제 1주관과제 : 버섯 재배사 방출에너지전달 시스템 개발】

1) 연구목적

버섯 재배 시 방출되는 공기를 효과적으로 활용하기 위해 국부냉난방 기술을 적용하여 여름철 고온과 동절기 저온에서 딸기를 안정적으로 생산하고 에너지를 절감함에 목적을 두고 추진하였다.

2) 연구방법

<1년차 : 2016. 9. 5 ~ 12. 31>

가. 버섯재배사의 규모

경기도 안성시 금광면에 운영 중인 버섯 재배사의 버섯배양실의 크기는 가로26m, 세로 32m, 측고 6m, 최대높이10m의 구조로 되었다. 버섯배양실에는 팽이버섯과 세송이 버섯 종균을 최대 60만병의 배양이 가능한 규모이며, 버섯 종균의 정상적인 배양을 위해 20마력 냉동기 6대를 설치하여 버섯 배양실의 실내온도를 항상 14-15℃로 유지하고 있다. 또한 버섯종균의 호흡의 결과로 발생하는 이산화탄소 농도를 최대 2,000ppm이하로 유지하기 위해 송풍기 10대와 배풍기 6대가 설치되어 가동되고 있다. 본 연구가 수행되는 기간에 배양되는 버섯종균의 양은 평균 10만병(1100cc병)을 유지하였다.

나. 하우스 설치

안성시 금광면 내우리에 위치하는 버섯농장을 기반으로 약 350평의 배양실과 약 10m 떨어진 위치에 450m²의 하우스를 설치하였다.

본 연구는 버섯 배양실에서 나오는 폐열과 이산화탄소를 이용하여 계절과 관계없이 딸기 재배를 목적으로 하는바, 하우스의 구조 설계시 온도 조절을 가장 중요한 요소로서 감안하였다.

하우스의 면적은 약 136평으로, 폭 8m, 높이는 어깨 높이가 4m, 최고 높이는 7m, 길이가 21m인 하우스를 3연동으로 만들었다. 보통의 딸기 하우스의 어깨 높이가 1.8 - 2m 정도임을 고려하면 두배 정도 더 높게 하여 고온기의 더워진 실내 공기가 상부로 올라가게 함을 목적으로 하였다. 하우스는 천창과 측창을 만들어 공기의 흐름이 상부로 올라가는 구조로 만들었다.

다. swing bed의 설치

버섯배양실에서 이산화탄소의 농도를 낮추기 위해 배출되어지는 저온 공기를 이용하여 여름철에 딸기를 재배하기 위해서 Fig. 1과 같이 버섯배양실 인접 공간(8m 떨어진 곳)에 가로 20m, 세로 24m, 최대 높이 6m의 3연동 일중피복 플라스틱하우스를 설치하였다. 첫 번째 연동 하우스는 고설베드(high bed)를 설치하여 딸기재배 무처리 대조구로 사용했으며, 두 번째 연동하우스는 3단의 다단베드를 설치되고 광량의 확보를 위해 다단베드 전체가 기울어지는 5

열의 스윙베드(swing bed)를 만들었다.

각 베드의 길이는 모두 18m이고, 스윙베드의 높이는 1단 0.5m, 2단 1.2m, 3단 1.9m로 설치하였다. 스윙베드 장치에는 300mm(PE pipe)의 원통형베드를 설치하고, 지름 200m내 포트를 이용하여 딸기를 정식한 후 원통형베드에 삽입되도록 만들었다. 원통형베드의 내부에는 뿌리부의 온도하강 효과를 위해 양액이 안개분무 되도록 분무경을 설치 하였다.

<2년차 : 2017. 1. 1~12. 31>

가. 국부냉방을 위한 공조장치 설계

온실의 냉방부하는 온실의 취득열량과 온실로부터의 손실열량의 차이로 주어진다. 따라서 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$Q_T = Q_R - Q_W - Q_V - Q_P \quad (1)$$

여기서, Q_T 는 온실의 냉방부하(W), Q_R 은 온실내로 유입되는 일사량(W), Q_W 는 온실피복재를 통한 관류열량(W), Q_V 는 환기로 배출되는 열량, Q_P 는 작물의 증발산에 소비되는 열량(W)을 말한다. 본 연구과제의 열량계산은 온실 내부에서 딸기모종의 하부에 작은 온실공간을 만들어 냉각공기를 순환시키는 과정임으로 냉방부하 Q_T 를 0으로 놓으면 다음과 같이 된다.

$$Q_V = Q_R - Q_W - Q_P \quad (2)$$

외부에서 들어오는 관류열량은 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$Q_W = UA_c(T_i - T_o) \quad (3)$$

여기서, U 는 온실 피복재의 열관류율(W/m²°C), A 는 피복재 면적(m²), T_i 와 T_o 는 공간 내부와 외부의 온도(°C)이다. 외부의 차가운 공기를 주입함에 따른 환기량에 의한 열량은 다음과 같다.

$$Q_V = \rho_i c_p V_r (T'_i - T'_o) \quad (4)$$

여기서, ρ_i 는 실내공기의 밀도(kg/m³), c_p 는 실내공기의 비열(J/kg°C), V_r 은 환기율(m³/s), T'_i 와 T'_o 는 작은 공간 내부와 외부유입 공기의 온도(°C)를 말한다.

본 연구에서 딸기관부에 딸기 잎으로 인해 일사량이 침투하기 어려워 열관류율 만으로 환기량을 구하면, 식(2)로부터 식(3), 식(4)를 이용하여 환기율을 구하기 위한 다음과 같은 식을 만들 수 있다.

$$V_r = \frac{UA_c(T_o - T_i)}{\rho_i c_p(T'_i - T'_o)} \quad (5)$$

일반적으로 피복재의 단일피복 열관류율은 6.2(W/m²°C), 딸기가 심어진 17m의 패드 양 옆으로 0.04m높이로 비닐을 덮어 포켓을 만들었다. 따라서 열관류가 되는 비닐의 총 단면적은 204 m², 온실내부의 최대온도 33°C, 작은 공간 온실의 허용온도 22°C로 가정할 때 환기율을 산출한다. 환기율의 산출을 위한 공기비중량 1.2kg/m³, 습공기의 비열 1,800J/kg°C, 실내허용온도 22°C, 흡기온도 15°C로 가정하면 환기율은 다음과 같다.

$$V_r = \frac{UA_c(T_o - T_i)}{\rho_i c_p(T'_i - T'_o)} = \frac{6.2 \times 204 \times (33 - 22)}{1.2 \times 1,800 \times (22 - 15)} = 0.92 \text{ (m}^3/\text{s)}$$

환기율의 산정결과 0.92m³/s 이고, 이를 시간당으로 변경하면 3,312m³/hr이 된다. 따라서 버섯 재배사에서 딸기 온실로 이송해야 하는 공기량은 시간당 3,312m³ 이상이 되어야 한다.

나. 공조배관의 설치

버섯재배사에서 딸기 온실의 배관설치를 위해 배관의 손실을 고려한 정압법을 이용하여 배관의 배치를 결정하였다. 우선 버섯재배사에서 딸기 온실로 공기를 보내기 위해 버섯재배사에 위에서 산출한 공기량 이상을 배출하는 동력 5마력의 시로코펜 환풍기를 설치하였고, 이 환풍기는 최대 9,000m³/hr를 배출할 수 있는 것이다. 설치 배관은 이송되는 차가운 공기의 열량이 손실되지 않도록 타포린 PVC관으로 난연 코팅된 것을 사용하였고, 배관의 외부를 보온재로 한번 더 감싸 열량 손실을 최소화하였다. 표 1은 각 배관의 내경이 줄어들어 따라 발생하는 압력 손실을 표시한 것이다.

표 1 각 배관의 규격에 따른 압력 손실

	배관직경 (mm)	배관길이 (m)	마찰손실 (mmAq/m)	상당길이 (m)	압력손실 (mmAq)
배양실↔하우스	450	8	0.9	-	
하우스↔하우스	450	8	0.9	6.75	20.5
하우스↔지상	200	4	2	5.4	18.8
하우스↔분기	100	0.1	-	-	
분기↔딸기관부	75	17	1.5	-	22.5
딸기관부 구멍	8	-	-	-	

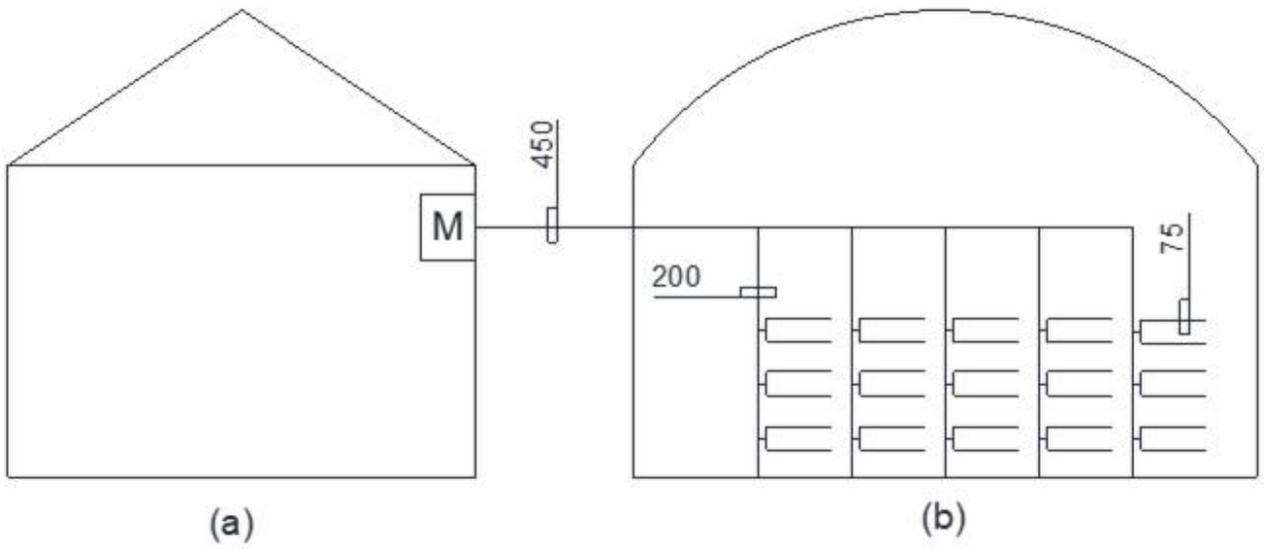


그림 2 버섯재배사와 딸기하우스 내 스윙원통베드 사이의 공조시스템
 (a)버섯재배사 (b)딸기하우스 내 스윙원통베드



그림 3 버섯재배사(우측)에서 딸기하우스로 가는 배관(450mm) 모습



그림 4 딸기하우스 내부 스윙윈통베드 공조시스템(200mm)



그림 5 하우스 내부 공조시스템(1)



그림 6 하우스 내부 공조시스템(2)



그림 7 스윙원통베드 국부냉방장치와 공조시스템(75mm)

그림 2에서부터 그림 7까지는 버섯재배사로부터 딸기 온실을 거쳐 스윙원통베드의 각 단에 공조 설비의 모습을 보여 주고 있다.

다. PLC를 이용한 자동제어

딸기 온실의 각 데이터의 수집과 원격제어에 적합한 확장성을 확보하기 위해 LG산전의 XGP-ACF2모델을 선정하여 다음의 그림과 같이 제어패널과 터치스크린을 설치하였다.



그림 8 PLC 외관모습

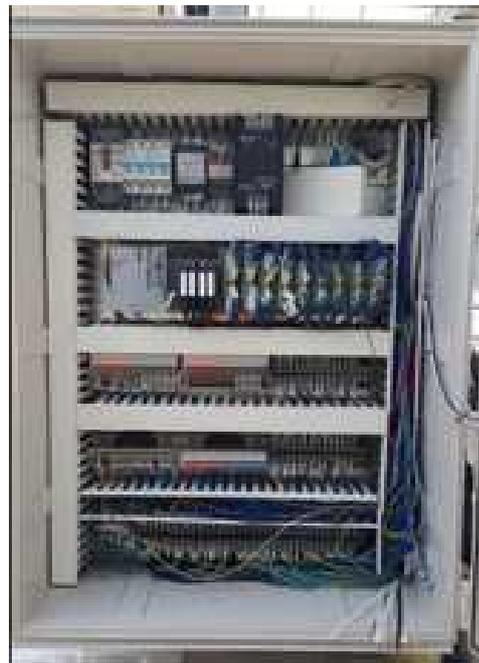


그림 9 PLC 내부 모습

표 2 연구 온실의 각 위치별 센서

센서명	규격
CO2 센서	모델명 : CD-100G(99%Humidity), elt센서(주) 센서 type : NDIR (Non-dispersive Infrared) / Single Type
Quantum 센서	모델명 : SQ-215 Apogee 민감도 : 2.0 mV per $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 스펙트럼 범위 : 410 nm to 655 nm (wavelengths where response is greater than 50 % of maximum)
EC,수분 센서	모델명 : WT1000B 미래센서 센서 type : FDR2(Frequency Domain Reflectometry) 측정범위 : Moisture 0 - 99.9% 토양EC 0 - 6.0dS/m Temperature 0 - 60°C
온도 센서	센서 type : Pt 100.Ω
온습도 센서	모델명 : THD-W-C 오토닉스

각 연구용 온실에 표 2와 같이 각 위치에 각종 센서를 설치하여 입력 값으로 사용하여 각 데이터를 수집할 수 있도록 하였다. Inverter를 이용한 버섯 배양실의 저온공기의 전달 시스템 알고리즘은 다음과 같이 설정하였다.

- 버섯배양실 온도가 딸기 관부온도 보다 낮을경우 (하절기) - MAX 60Hz / MIN 45Hz
 딸기 온도가 설정온도 보다 3도 이상 높을때는 5hz 씩 20c초 마다 증가 (반응 시간을 고려)
 딸기 온도가 설정온도 보다 1도 이내 높을때는 1hz 씩 20c초 마다 증가
 딸기 온도가 설정온도 보다 3도 이상 낮을때는 5hz 씩 20c초 마다 감소
 딸기 온도가 설정온도 보다 1도 이내 낮을때는 1hz 씩 20c초 마다 감소
- 버섯배양실 온도가 딸기 관부온도 보다 높을경우 (동절기) - MAX 60Hz / MIN 45Hz
 딸기 온도가 설정온도 보다 3도 이상 낮을때는 5hz 씩 20c초 마다 증가 (반응 시간을 고려)
 딸기 온도가 설정온도 보다 1도 이내 낮을때는 1hz 씩 20c초 마다 증가
 딸기 온도가 설정온도 보다 3도 이상 높을때는 5hz 씩 20c초 마다 감소
 딸기 온도가 설정온도 보다 1도 이내 높을때는 1hz 씩 20c초 마다 감소

라. HMI(Human Machine Interface) programing

온실의 환경을 데이터로 수집하거나 제어하기 위하여 LG산전 XGT InfoU 모델을 이용하여 프로그래밍 하였다. 사무실에 설치된 컴퓨터에서 그림 과 같은 메인화면을 볼 수 있고, 핸드폰으로도 원격제어가 가능하다. 또한 데이터 로깅 기능을 넣어 센서가 수집한 정보를 excel 파일로 만들어 데이터 분석이 가능하며 추후 빅데이터 분석도 가능하도록 하였다.

표 3 HMI 컴퓨터 각종 화면

<p>주 화면</p>	
<p>원격제어 화면</p>	
<p>데이터분석화면</p>	

3. 연구결과

가. 딸기관부의 국부냉방효과

버섯 배양실의 저온 공기는 항상 14~15℃를 유지하였고, 이 저온의 공기로 딸기 관부 및 화아부의 냉방효과를 보기위해 온도변화를 추적하였다. 고설베드와 스윙베드의 온도 측정치는 전면, 중간, 후면부 온도 측정치 중 낮은 값을 선택하였고, 2017년 7월 7일의 플라스틱하우스 내부 온도와 고설베드 및 스윙베드의 딸기 관부의 온도변화를 그림 10에 나타내었다.

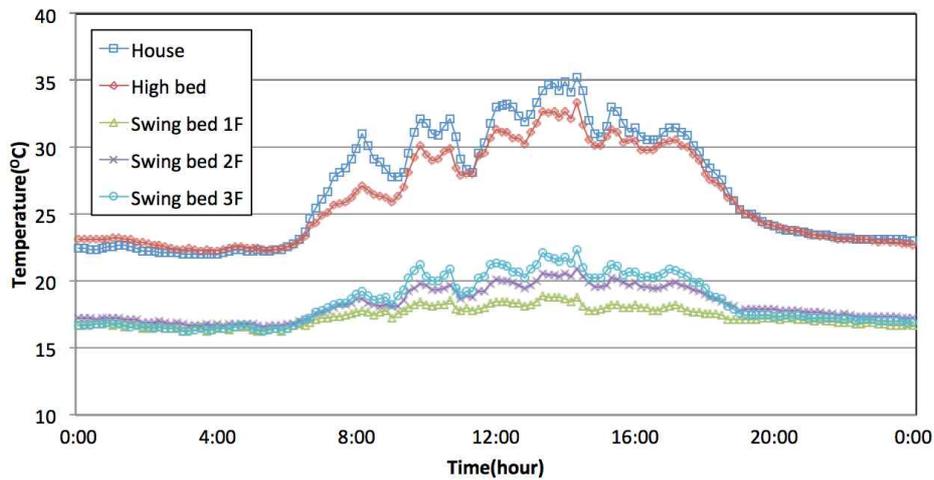


그림 10 딸기 온실, 고설베드, 스윙베드 각 단의 온도변화(2017.7.7.)

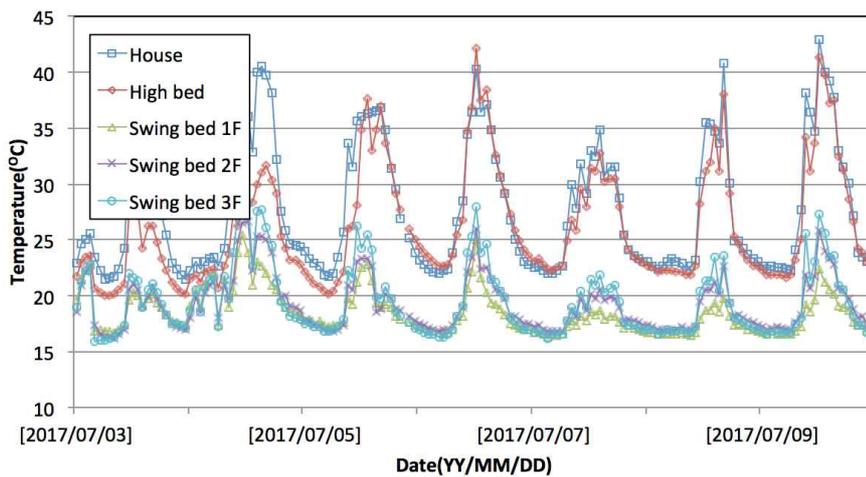


그림 11 한 주간 딸기 온실 내부 각 부분의 온도변화(2017. 7)

플라스틱 하우스의 온도는 오전 6시경부터 상승하기 시작하여 오후 2시경에 최대온도를 나타낸 다음 오후 5시경부터 온도가 내려가기 시작하였다. 하우스 내부 온도와 고설베드의 온도는 최고온도에서 2℃의 차이를 보였고, 고설베드와 스윙베드 3단에서의 온도차이는 약 11℃로 나타났다. 스윙베드는 1단, 2단, 3단의 온도 차이는 약 2℃로 나타났으며, 1단이 가장 낮고 3단이 가장 높았다. 이것은 스윙베드의 3단이 태양의 복사열을 가장 많이 받고 있으며 하우스 내에서 가장 높은 위치에 있기 때문인 것으로 추정된다.

그림 11은 7월중 한 주간의 온도변화를 나타내었다. 딸기가 성장을 멈추는 30℃를 기준으로 볼 때 하루 중 최고온도가 고설베드의 경우는 6일을 넘었고, 스윙베드에는 나타나지 않았다. 혹서기 피해가 나타나는 35℃를 기준으로 볼 때 고설베드는 4일이 기준을 넘었다. 야간의 온도를 살펴보면, 스윙베드는 16~18℃ 범위에서 움직였고, 고설베드는 외부의 기온에 따라 20~23℃의 범위에서 움직인 것으로 조사되었다. 이와 같은 결과로 볼 때, 스윙베드에서는 최저 16℃에서 최고 29℃의 온도범위를 보여 딸기의 생육에 적합한 온도범위를 유지하였다.

그림 12는 7월 한 달간의 고설베드와 스윙베드의 관부 온도변화를 나타내었다. 먼저 딸기 성장이 멈추는 30℃를 기준으로 볼 때, 고설베드의 경우는 하루 중 최고온도가 기준온도를 넘기는 일수가 30일 중에 24일이었고, 스윙베드의 경우는 30일 중에 2단에서 2일과 3단에서 7일이 기준을 초과하였다. 또한 혹서기에 딸기 피해가 나타나는 35℃를 기준으로 볼 때, 고설베드는 30일 중에 19일로 나타났고, 스윙베드에서는 30일 중에 3단의 경우만 2일이 초과하였다. 이것을 표 4에 정리하였다.

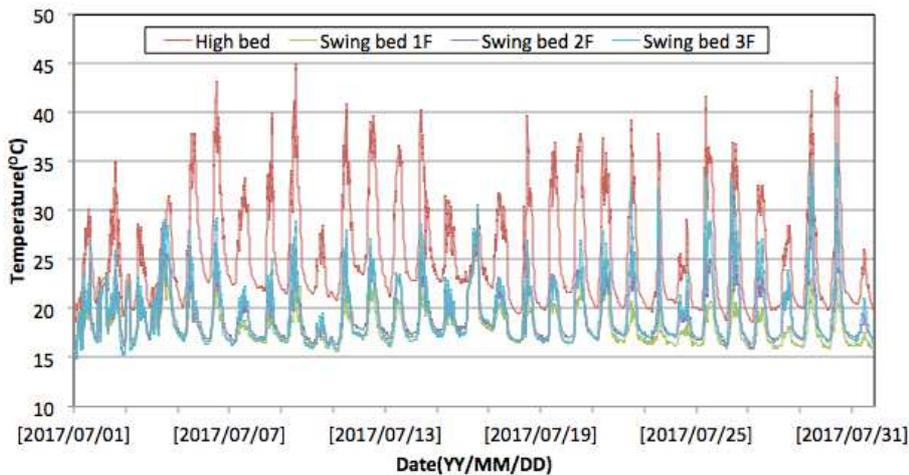


그림 12 7월의 딸기 관부 온도변화

표 4 스윙원통베드 각 단의 기준온도 초과 일수

기준온도	고설베드	스윙베드 1단	스윙베드 2단	스윙베드 3단
35℃	19	-	-	2
30℃	24	-	2	7

그림 13은 7월 한 달 동안 고설베드와 스윙베드의 딸기 관부에서 측정되는 평균온도의 변화를 나타내었다. 고설베드의 배지는 대체로 25~35℃의 온도 구간에서 변화하였고, 스윙베드의 배지에서는 대체로 17~25℃에서 변화되는 것을 볼 수 있다.

그림 14는 7월 한 달 동안 고설베드와 스윙베드의 배지에서 측정되는 평균온도의 변화를 나타내었다. 고설베드의 배지는 대체로 25~30℃의 온도 구간에서 변화하였고, 스윙베드의 배지에서는 대체로 20~25℃에서 변화되는 것을 볼 수 있다.

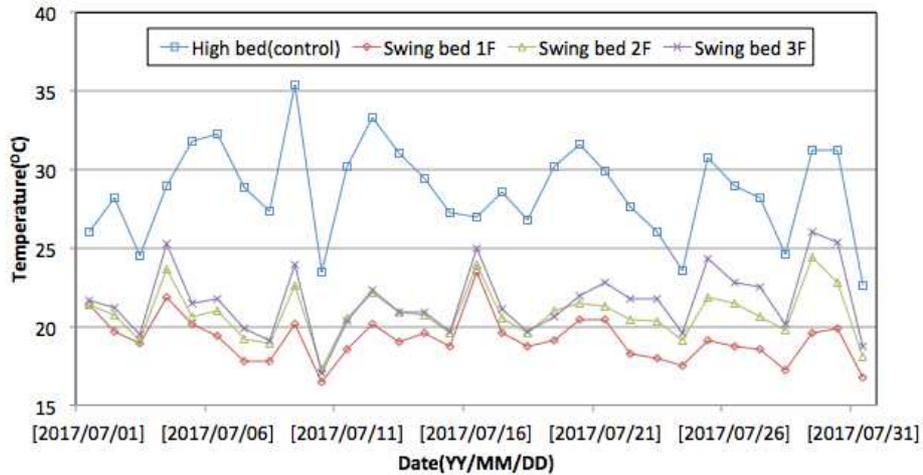


그림 13 7월 한 달 동안의 딸기 관부의 평균온도변화

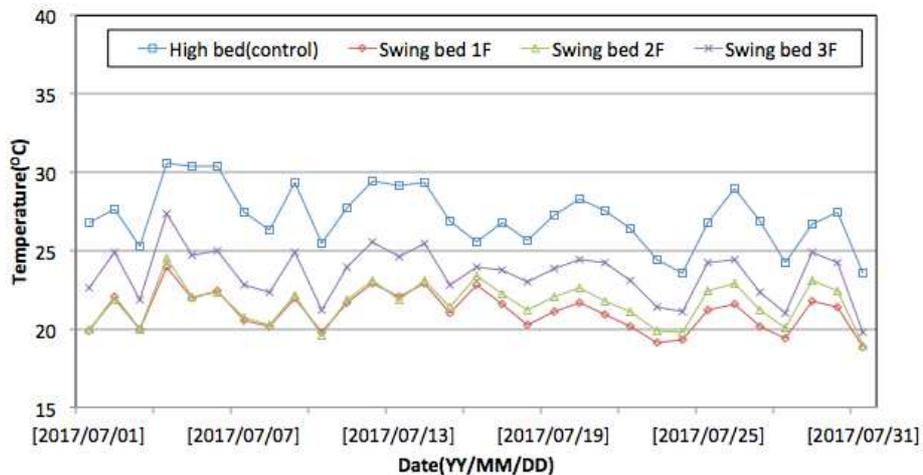


그림 14 7월 한 달 동안의 딸기 배지의 평균온도변화

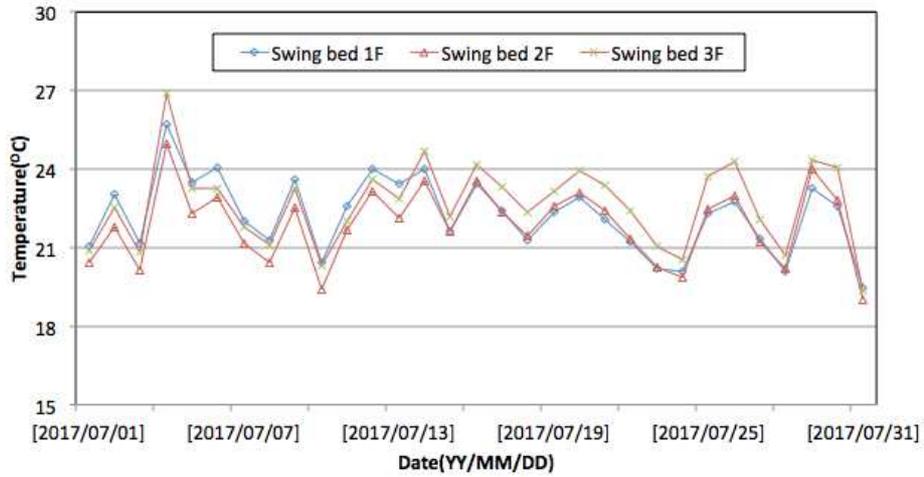


그림 15 7월동안 스윙베드의 딸기 뿌리부 평균온도변화

그림 15는 스윙베드의 딸기 뿌리부 평균온도변화를 본 것이다. 딸기 뿌리부의 평균온도는 배지의 온도와 비슷한 20~25°C에서 변화되는 것을 볼 수 있다. 이와 같은 결과로 볼 때, 여름철에 버섯재배사에서 버려지는 저온의 공기를 이용하여 플라스틱하우스의 딸기 생육이 가능하다는 것을 보여주는 결과이다.

마. 딸기뿌리생육상황

고설베드와 스윙베드에서 생육중인 딸기 모주의 뿌리 생육상태를 조사한 결과 스윙베드의 크라운부위 굵기는 14.66mm, 고설베드의 크라운부위 굵기는 9.5mm 각각 조사되었다. 그림 16에서 보듯이 고설베드의 뿌리 생육상황은 검게 변한 부위가 많아 고온의 피해를 입은 것으로 추정되며, 반면에 그림 17의 스윙베드 뿌리 생육상황은 전체적으로 백색의 색택을 보이고 있으며 세근도 잘 자란 것으로 나타난 것으로 보아 저온의 공기를 공급해준 것이 효과를 보인 것으로 판단된다.



그림 16 고설베드에서 자란 딸기 뿌리부

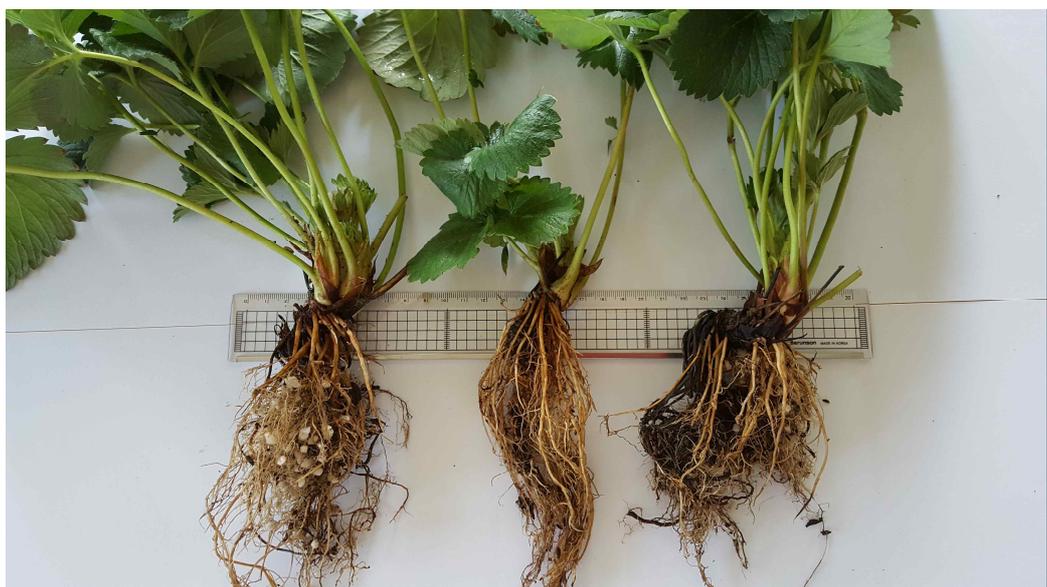


그림 17 스윙베드에서 자란 딸기 뿌리부

<3년차 : 2018. 1. 1 ~ 12. 31>

1. 연구목적

3년차 시험은 딸기연중생산을 위해 버섯 재배 시 방출되는 공기의 열량과 이산화탄소의 발생량을 수치화하여 버섯재배사 규모에 따른 딸기재배 면적을 산정하고, 소프트웨어 프로그램에 의한 버섯 재배사 방출공기 전달을 자동화하는데 있다.

2. 연구방법

가. 시험균주 및 종균제조



그림 18 종균제조 시설

시험균주는 큰느타리2호(새송이)를 사용하였고, 종균제조는 먼저 1L 삼각플라스크에서 균주를 키운 후 500L 발효탱크를 이용하여 종균의 양을 증폭시켜 사용하였다.

나. 배지제조 및 중균접종

배지재료는 Table1의 내용과 같은 성분비로 혼합하였다. 배지의 수분은 68%로 조정된 후 1,100cc 플라스틱 병에 입병하여 고압멸균기에서 살균하였다. 이때 한 병당 배지의 무게는 850~890g으로 조정하였다.

표 5 배지재료의 혼합비율

구 분	배 합 비 1	
	첨 가 량(g)/병	단백질양(g)/병
툽밥	79.71	0.48
콘킵	73.91	1.49
밀기울	45.65	6.62
옥수수	8.70	0.65
옥배아박	23.19	4.87
채종박	12.32	4.62
단백피	7.25	1.45
대두피	18.84	2.17
비트펄프	20.29	1.81
대두박	8.70	3.87
합 계	298.6	26.05

배지의 멸균은 그림 19과 같이 1차 시기에서 온도는 102℃에서 100분을 유지 하였으며, 2차 시기에서는 121℃로 올려 60분을 유지하는 단계를 거쳤다. 이후 냉각실에서 배지의 온도를 15℃까지 떨어 뜨린 후 중균 접종을 하였다.

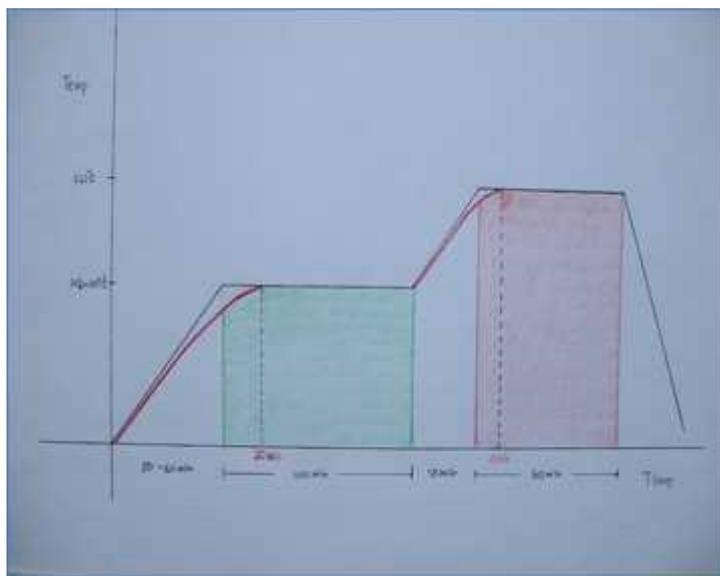


그림 19 배지멸균을 위한 온도-유지시간

다. 버섯재배사 이송열량에 따른 딸기근부 온도예측

딸기관부의 온도는 취득열량과 손실열량의 차이로 주어진다. 따라서 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$Q_T = Q_R - Q_W - Q_V - Q_P \quad (6)$$

여기서, Q_T 는 온실의 냉방부하(W), Q_R 은 온실내로 유입되는 일사량(W), Q_W 는 온실피복재를 통한 관류열량(W), Q_V 는 환기로 배출되는 열량, Q_P 는 작물의 증발산에 소비되는 열량(W)을 말한다. 본 연구에서는 딸기모종의 하부에 만든 작은 공간에 버섯재배사의 차가운 공기를 순환시키는 과정이므로 Q_T , Q_R , Q_P 를 고려하지 않고 관류열량과 환기열량만으로 단순 계산인 식(7)로 딸기 관부의 온도를 계산하였다.

$$Q_W = -Q_V \quad (7)$$

또는

$$\rho_i c_p V_r (T'_i - T'_o) = UA_c (T_o - T_i) \quad (8)$$

이다. 여기서 $T'_i = T_i$ 이므로 식(8)은 아래 식(9)로 정리된다.

$$T_i = \frac{(\rho_i c_p V_r T'_o + UA_c T_o)}{\rho_i c_p V_r + UA_c} \quad (9)$$

여기서, ρ_i 는 실내공기의 밀도(kg/m³), c_p 는 실내공기의 비열(J/kg°C), V_r 은 환기율(m³/s), T'_o 버섯배양실에서 딸기관부로 이송되는 공기의 온도(°C), U 는 딸기관부에 설치된 피복재의 열관류율(W/m²°C), A 는 피복재의 면적(m²), T_i 와 T'_i 는 딸기근부 온도, T_o 는 온실의 온도(°C)이다.

라. 생육단계별 호흡량 측정

버섯재배과정에서 발생하는 이산화탄소의 양을 측정하기 위해서 안성시 금광면 소재 일반버섯재배농장에서 사용하는 배양실을 사용하였다. 버섯 배양실의 크기는 가로 6.9m, 세로 9.9m, 높이 3.9m이며, 버섯 종균을 접종한 850cc병을 배양실에 넣은 후 버섯의 호흡량을 측정하였다. 이산화탄소 센서는 그림 20과 같이 배양실의 바닥 중앙지점에서 그 바닥에서부터 위쪽 1m 되는 위치에 설치하였다. 센서는 매초 1회 측정하고, 측정된 데이터는 컴퓨터에서 자동으로 수집하도록 장치를 개발하였다. 먼저 그림 2는 접종된 병 버섯을 배양실에 넣은 배양실 내부 모습을 나타낸 것이다. 그림 21은 이산화탄소 센서의 설치모습을 확대하여 촬영한 것이다.



그림 20 버섯 배양실 내부 모습과 이산화탄소 센서 위치



그림 21 입병 배지온도센서 설치 모습

배양실 내부의 이산화탄소 농도 측정에 사용된 센서는 NDIR(Non-dispersive Infrared)방식이며, 측정 데이터는 컴퓨터에서 ppm단위로 볼 수 있도록 저장 되었다. 배양실에서 나타나는 이산화탄소 변화량은 컴퓨터의 저장장치에 저장이 되며, 이 저장된 데이터를 컴퓨터의 모니터에서 실시간으로 모니터링 할 수 있도록 하였다. 그림 22는 컴퓨터의 모니터에서 배양실의 이산화탄소 변화량을 실시간으로 나타내는 모습이며, 그 외 온도, 습도 등도 실시간으로 확인할 수 있는 메뉴를 보여준다. 또한 컴퓨터에 저장된 데이터를 불러서 일정 기간의 배양실 내부의 이산화탄소 변화량을 그래프로 나타낼 수도 있다.

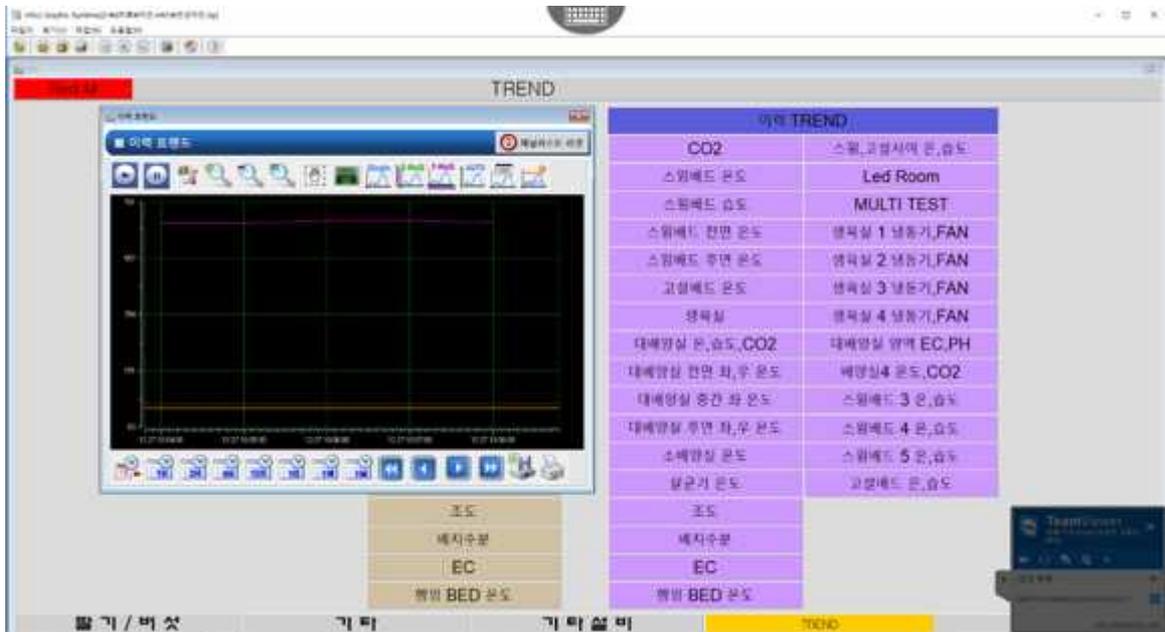


그림 22 컴퓨터 메뉴화면과 이산화탄소 모니터링

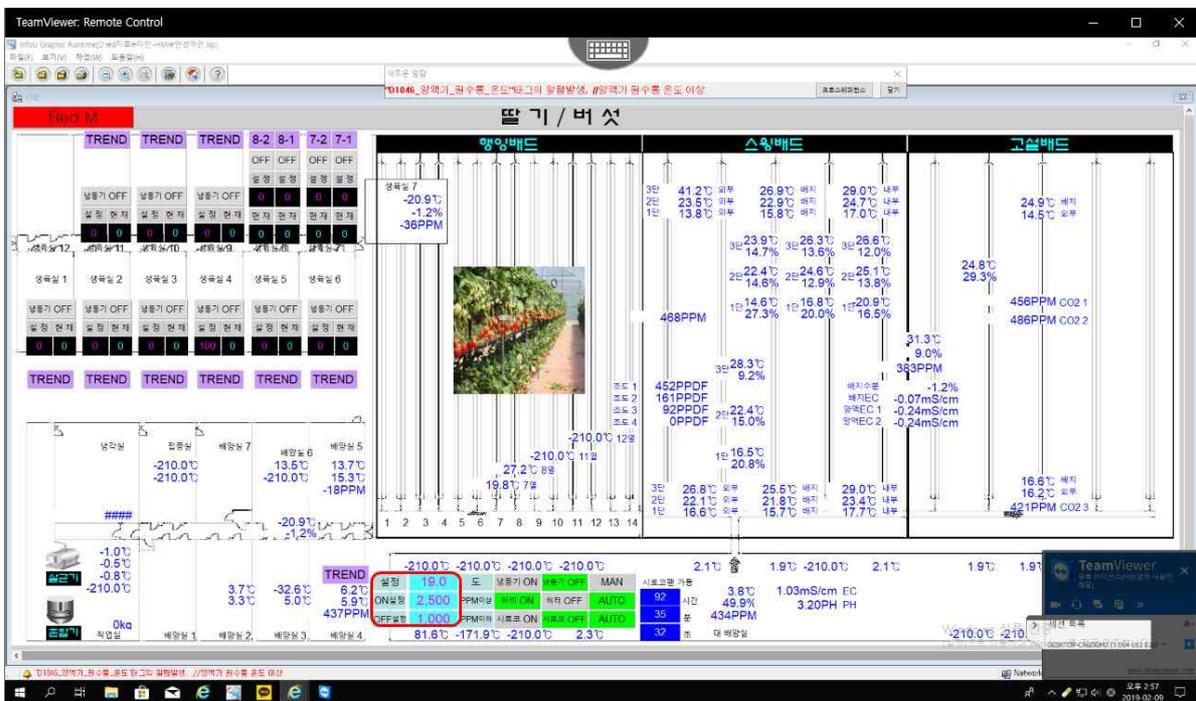


그림 23 배양실 내부 온도와 외기 환기시점 설정 화면

버섯재배사의 배양실 내부 이산화탄소 농도는 일정한 농도 이하가 유지되도록 배양실에 환기장치가 설치되어 있다. 이번 실험에서는 배양실 내부의 이산화탄소 농도가 2,000~2,500ppm을 넘을 경우 자동으로 환풍기가 작동하여 환기 되도록 하였다. 새송이 버섯의 배양실 내부 온도는 17~18℃를 설정하여 일정한 온도가 유지되도록 냉방기가 또는 난방기가 작동하도록 하였다. 이 모든 작동은 컴퓨터의 메인화면에서 설정할 수 있게 하였고, 설정 값에 도달하면 환

기시스템, 냉난방기가 자동으로 작동/정지가 제어 되도록 하였다. 그림 23은 배양실의 온도, 환기시스템을 설정하는 컴퓨터의 메인화면을 보여주는데 화면 아랫부분의 붉은 색으로 표시한 부분에서 내부온도와 이산화탄소 농도에 따라 환풍기의 작동/정지를 설정한 것이다. 컴퓨터의 설정화면에서 보듯이 기준온도, 환기시스템이 작동하는 이산화탄소 농도(ppm), 정지하는 이산화탄소 농도(ppm)를 설정하게 되어 있다. 환기 방식은 배양실의 상부에 환풍기가 설치되어 있어서 작동이 되면 배양실 내부의 공기를 외부로 불어내는 방식이며, 이때 외기는 배양실의 하단에 뚫려있는 1㎡의 개구부와 문 틈새를 통해 외기가 배양실 내부로 유입된다.

큰느타리2호의 이산화탄소 발생량을 측정하는 실험은 2018년 8월과 10월, 2차례에 걸쳐 실시하였다. 일반적으로 버섯농가에서는 큰느타리2호의 종균을 병에 접종한 후 배양실에 넣으며, 배양실에 입고한 후 35일 동안 배양하는 방법을 사용하고 있다. 이번 버섯의 이산화탄소 발생 측정실험에서도 배양실에 넣은 다음 35일간의 이산화탄소 농도 변화를 측정한 다음 병 하나당 발생하는 이산화탄소 양을 산출하였다. 1차 실험에서는 버섯종균을 접종한 크기 850cc의 7,000병을 배양실에 넣었고, 실내온도는 17℃, 이산화탄소 농도는 1,800~2,200ppm으로 설정하여 배양실 내부 이산화탄소 농도가 2,200ppm 이하로 유지되도록 하였다. 2차 실험에서는 버섯종균을 접종한 3,300병을 넣었고 실내온도는 18℃, 이산화탄소 농도는 1,000~2,500ppm으로 설정하여 배양실 내부의 이산화탄소 농도가 2,500ppm 이하로 유지되도록 하였다.

마. 환기량의 계산

버섯 배양실의 실내 이산화탄소 농도를 일정하게 유지하기 위해서는 환풍기를 이용한 강제환기방식을 채택하여야 한다. 따라서 배양실내의 이산화탄소 농도 유지를 위한 필요환기량은 식(10)으로 계산할 수 있다.

$$Q = (24.1 \times 100 \times SG \times ER \times Sf) / (MW \times LEL \times B \times 60) \quad (10)$$

여기서, Q는 환기량(m³/min), SG는 비중량(kg/L), ER은 발생량(L/hr), MW는 분자량(g/mol), LEL은 발생한계(%), Sf는 안전계수, B는 상수(121℃ 이하=1, 121℃ 초과=0.7)를 말한다.

버섯배양실의 실내 CO₂농도가 ppm단위로 측정되므로 식(10)을 수정하면, 아래의 식(11)과 같이 된다.

$$Q = (24.1 \times E \times Sf \times 10^6) / (MW \times PM \times B \times 60) \quad (11)$$

여기서, Q는 환기량(m³/min), E는 이산화탄소 발생량(kg/hr), PM은 이산화탄소 유지 농도(ppm)를 말한다. 따라서 실내 공간에서 버섯이 발생하는 이산화탄소의 분당 발생량과 이산화탄소 유지 농도를 정하면 실내 필요환기량을 계산할 수 있다.

3. 연구결과

가. 딸기관부 온도 계산

본 연구에서 2차년도에 실시하였던 딸기 관부의 온도변화를 다시 살펴보기 위하여 재실험을 하였다. 버섯재배사와 딸기하우스 국부냉방까지의 공조시설은 2차년도에 제작한 것과 동일하다. 딸기관부에 저온공기를 공급하는 길이 17m, 직경 75mm관을 설치하고, 그 관에 직경8mm 구멍을 120개씩 뚫어서 버섯재배사에서 이송된 찬 공기가 딸기관부에 투입되도록 하였다. 직경 8mm의 각 구멍에서 분출되는 찬 공기의 속도는 풍속계를 이용하여 측정한 결과 1.8m/s 속도로 분출되었다. 표 12는 이 측정 결과로부터 계산된 버섯재배사에서 딸기하우스의 국부냉방부로 이송되는 공기량을 재산출한 것이다. 버섯재배사에서 딸기근부인 국부냉방부로 이송되는 공기량은 1,173m³/hr로 나타났다.

버섯재배사에서 딸기근부인 국부냉방부로 이송되는 차가운 공기로 인한 딸기관부에서 나타나는 온도 변화를 살펴보기 위해 2018년도에 안성시에서 기온이 가장 높았던 8월 2일 하루 동안의 안성시 금곡리에 설치된 딸기하우스 내부 온도변화를 그림 24에 나타내었다. 딸기하우스의 내부온도는 대기 온도와 태양복사열로 인해 낮에는 40℃가 넘게 나타났다.

표 6 각 공조부의 풍량

배관크기	8mm구멍	75mm	100mm	200mm	450mm
공기량(m ³ /hr)	0.33	39	78	235	1,173

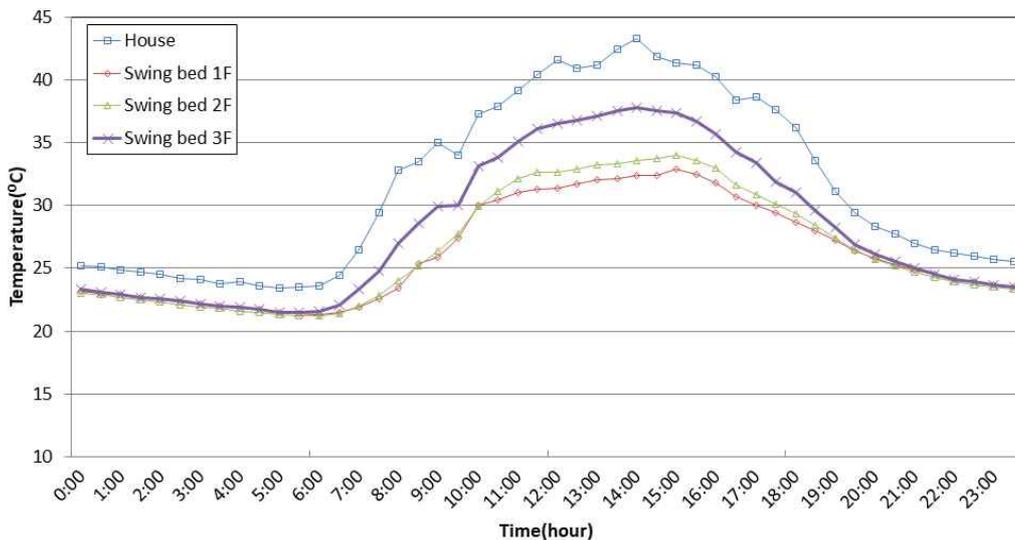


그림 24 딸기하우스와 스윙원통베드의 온도변화(2018. 8. 2)

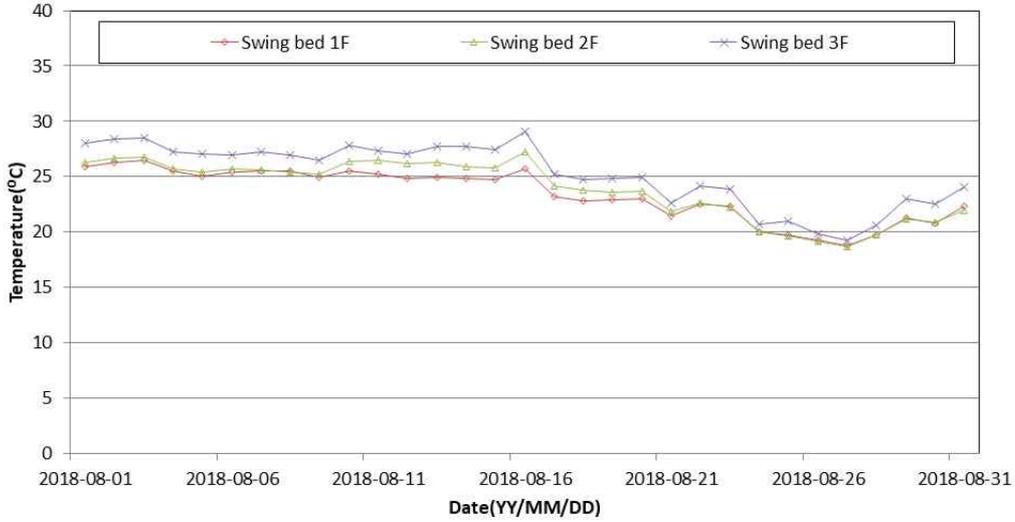


그림 25 2018년 8월달 스윙원통베드 1, 2, 3단의 평균온도변화

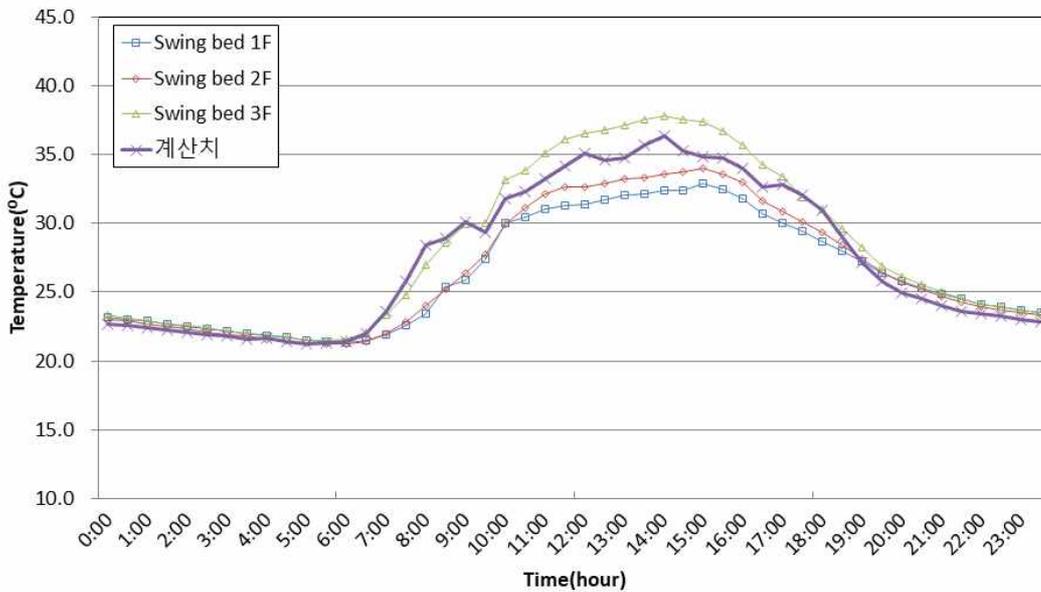


그림 26 스윙원통베드의 온도와 계산된 온도 값의 변화(2018. 8. 2)

그림 25는 2018년 8월인 한 달간 스윙원통베드 평균온도변화를 나타내었다. 평균온도의 산출은 기상청에서 실시하는 8점(3시, 6시, 9시, 12시, 15시, 18시, 21시, 24시)의 평균으로 산출하였다. 스윙베드는 3단 5열로 설치되어 있고, 딸기관부 인근에 온도센서를 두어서 온도를 수집한 것이다. 스윙베드의 온도를 살펴보면, 가장 위쪽에 위치한 3단이 가장 높은 평균온도를 보였고, 가장 아래에 있는 1단이 가장 낮은 평균온도를 나타내었다. 가장 무더웠던 8월 한 달 동안 스

윙베드 1단은 19~26℃, 3단은 19~28℃의 평균온도를 보였다.

그림 26은 2018년 8월 2일 스윙베드 각 단의 딸기관부 측정 온도와 열량계산에 의한 계산된 온도를 함께 나타낸 것이다. 여기서 계산된 온도는 표 6의 배관 풍량을 국부냉방부의 환기량으로 하고, 식(9)를 이용하여 딸기관부의 온도를 역으로 계산하여 나타낸 것이다. 계산에 사용된 변수 값으로 열관류율은 6.2(W/m²℃), 공기비중량 1.2kg/m³, 공기의 비열 1,012J/kg℃, 딸기관부의 차가운 공기의 온도 14.5℃, 외부온도는 측정된 온실의 온도를 넣어서 계산하였다. 그림 26에서 나타나듯이 계산치 온도 값은 가장 높은 위치의 3단 보다는 낮게, 1단과 2단 보다는 높게 나타났다. 계산치 온도보다 높게 측정된 3단을 기준으로 볼 때 3단의 딸기관부 온도와 계산치 온도의 상대오차율은 최대 7% 정도로 나타났다. 따라서 국부냉방부의 비닐에 의한 열 유동량과 버섯재배사에서 오는 차가운 공기량에 의한 열량계산만으로 딸기근부의 온도예측에서는 무리가 없는 것으로 나타났다. 이 데이터를 활용하여 버섯재배사에서 이송되는 풍량을 변수로 할 때 딸기관부의 온도를 예측할 수 있을 것이다. 본 연구에서는 현재의 딸기재배시스템에서 여름철 딸기재배가 가능하다는 것으로 가정하여 버섯재배사의 버섯호흡에 따른 이산화탄소 발생량을 기준으로 한 딸기재배면적을 산출하는데 활용할 것이다.

나. 이산화탄소 발생량

본 연구에서는 큰느타리2호(새송이 버섯)을 대상으로 버섯호흡에 따른 이산화탄소 발생량 측정실험을 2차례 하였다. 1차는 2018년 8월 18일부터 9월 21일까지 850cc병 7,000개를 배양실에 입고한 후 35일간 배양실 내부의 이산화탄소 변화를 측정하였고, 일자에 따른 분당 이산화탄소 발생량을 그림 30에 나타내었다. 배양실 내부의 이산화탄소 변화량은 배양초기에 작게 나타다가 배양중기에 최대로 되었으며 배양말기에 다시 줄어드는 현상을 보였다. 이산화탄소 발생량은 배양실에 입고한 지 7일째에 분당 1ppm씩 증가하였고, 25일째에는 분당 14ppm씩 증가하였다. 다만 아쉬운 부분은 배양 중간부분에서 센서의 고장으로 인해 몇 일간 이산화탄소 발생량의 측정값을 나타낼 수 없었다.

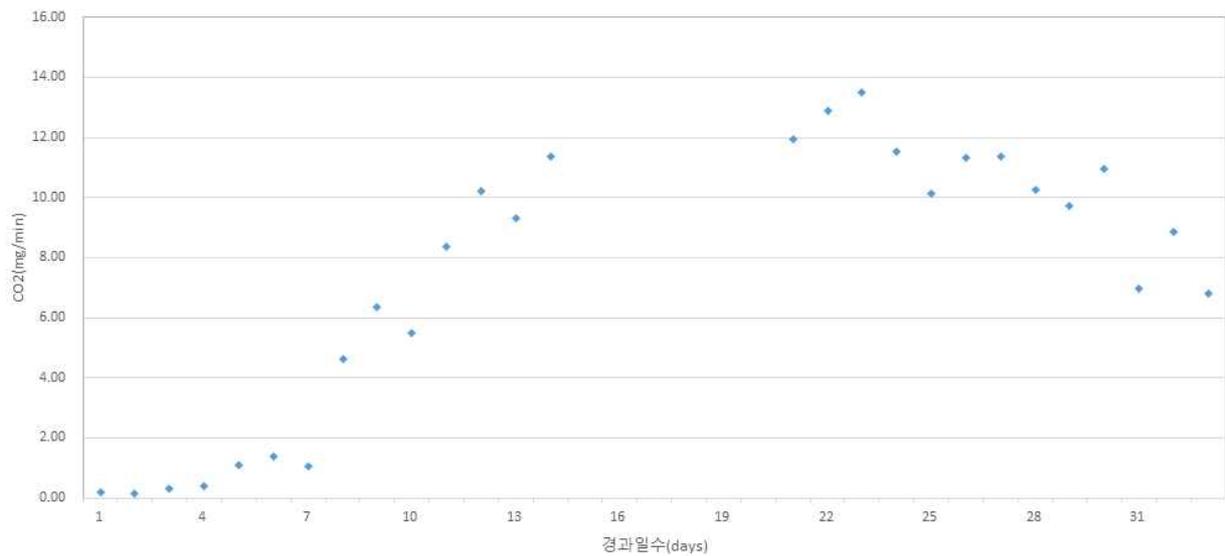


그림 27 버섯배양실의 이산화탄소 변화량(2018.8.18.~9.21)

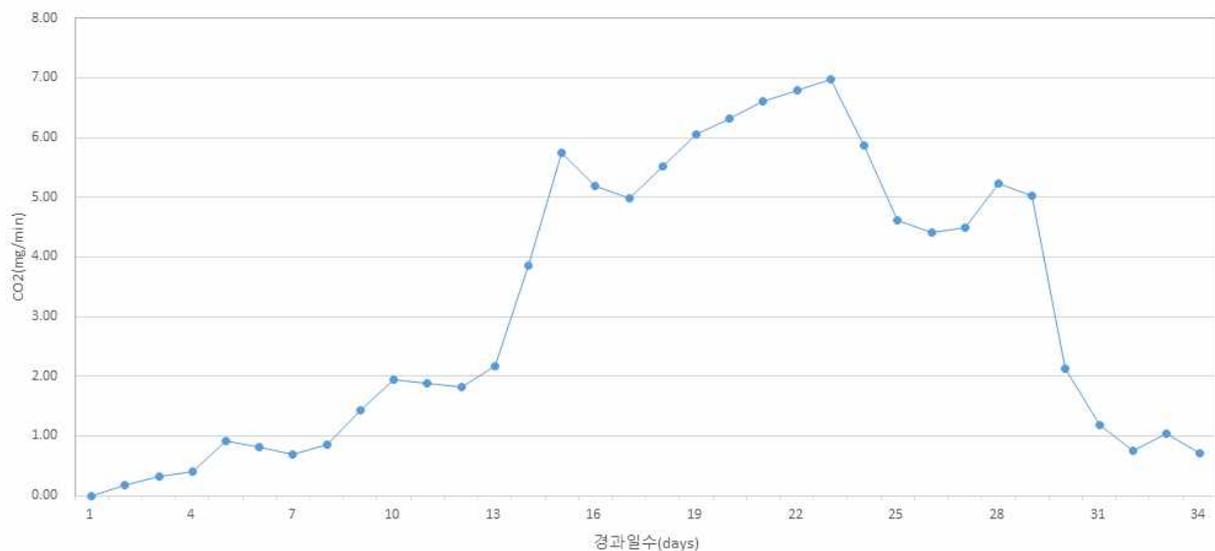


그림 28 버섯배양실의 이산화탄소 변화량(2018.10.23.~11.26)

2차는 2018년 10월 23일부터 11월 26일까지 850cc병 3,300개를 배양실에 입고한 후 35일간 배양실 내부의 이산화탄소 변화를 측정하였고, 일자에 따른 분당 이산화탄소발생량을 그림 28에 나타내었다. 1차 실험과 동일하게 배양초기에는 이산화탄소 발생량이 작다가 배양중기에 발생량이 최대로 되었으며 배양 말기에 다시 줄어드는 현상을 보였다. 배양실에 입고한 후 16일째에 분당 5.74ppm으로 상승하였다가 24일째에 분당 6.98ppm으로 최대값을 보였다. 이후 배양 말기에는 이산화탄소 발생량이 다시 줄어들었다. 1차 실험에서는 배양 후 25일째에 이산화탄소 발생량이 최대치를, 2차 실험에서는 배양 후 24일째에 최대치를 나타내었다.

1차 실험과 2차 실험에서 사용한 큰느타리2호(새송이 버섯)의 입병수가 달라서 분당 발생하는 이산화탄소량이 다르게 나타난다. 또한 버섯호흡량을 이산화탄소의 농도(ppm)로 나타내게 되면 버섯재배사의 규모에 따라 발생하는 이산화탄소량은 같아도 농도는 차이를 나타내게 된다. 따라서 동일조건으로 이산화탄소 변화량을 비교하기 위하여 병당 발생하는 이산화탄소 발생량을 이산화탄소의 분자량으로 계산하였다. 1차 실험과 2차 실험의 결과를 병당 발생하는 이산화탄소 분자량으로 나타내면 그림 29와 같다.

버섯배양실에서 나타나는 이산화탄소 발생량이 1차에는 병당 0.95mg/min, 2차에는 병당 1.03mg/min이 최대 값으로 나타났으며, 발생량의 추이는 비슷하게 나타났다.

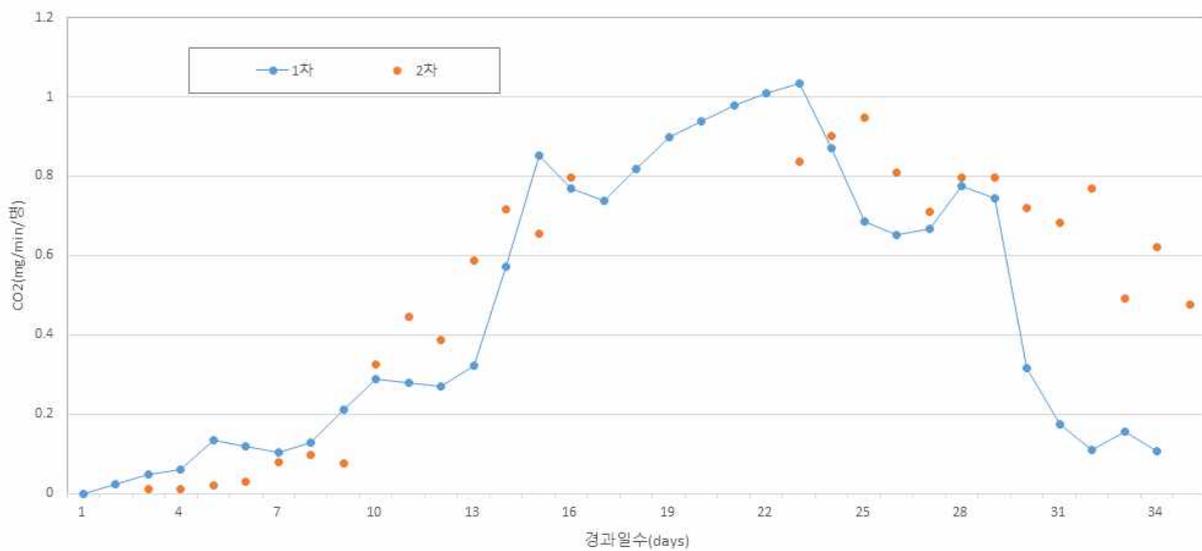


그림 29 버섯배양실의 이산화탄소 변화량(2018.8.18.~9.21)

다. 버섯재배사의 필요환기량

본 연구에서는 큰느타리2호(새송이 버섯)을 기준으로 버섯재배사의 배양실에서 일정한 농도의 이산화탄소를 유지하기 위해서 환기시켜 주어야 할 배양실의 필요환기량을 구하고자 한다. 이 필요환기량은 버섯재배사에서 버섯을 배양하기 위해 어쩔 수 없이 버려야 하지만 딸기하우스에서는 딸기관부의 온도유지와 딸기 재배에 필수적인 이산화탄소를 공급하므로 유용한 자원이 된다.

현재 연구가 진행되고 있는 경기도 안성시 금곡리 버섯농장의 버섯재배사 규모는 최대 60만 병을 한꺼번에 넣을 수 있는 배양실을 가지고 있다. 이 배양실은 일반적으로 하루 10,000병이 매일 입고되고 10,000병이 매일 출고되는 형태로 운영하고 있다. 따라서 버섯재배사에는 접종 후 1일부터 35일째 되는 병이 모두 입고되어 있는 형태이므로 35일간 병당 발생하는 이산화탄소량의 평균치를 산출하여 입고된 병수를 곱하면 총 이산화탄소 발생량을 산출할 수 있다. 큰느타리2호(새송이 버섯)의 한 병당 배양기간 동안 배출하는 평균 이산화탄소량은 1차 실험에서 일정기간동안 데이터를 확보하지 못하였으므로 2차 실험에서 측정된 값을 사용하였다. 2차 실험에서 병당 발생한 이산화탄소 발생량의 35일 평균한 값은 0.47mg/min으로 계산되었다.



그림 30버섯 배양실에 내부 모습

표 7 일당 입병수에 따른 이산화탄소 발생량

일당 입병수(병)	배양(일)	총입병수(병)	CO2발생량 (mg/min/병)	CO2발생량 (mg/min)
3,000	35	105,000	0.47	49,350
5,000	35	175,000	0.47	82,250
10,000	35	350,000	0.47	164,500
17,000	35	595,000	0.47	279,650

경기도 안성시 금광면의 농장에서 보유하고 있는 가장 큰 버섯 배양실은 전면 26m, 길이 36m이고, 26m인 전면부에서 볼 때 높이 6m이고 중앙부가 최대 10m인 둥근 형상을 하고 있다. 이 배양실은 최대 60만병을 입고할 수 있는 규모로서 큰느타리2호(새송이 버섯) 17,000병을 매일 입고하고 출고할 수 있는 규모이다. 입병된 버섯이 버섯배양실에 들어갔을 때 배양실 내부 모습이 그림 33과 같다. 매일 17,000병을 입고한다고 가정하면 최대 595,000병이 배양실에 있게 되고, 최대로 입고된 상태에서 분당 발생하는 이산화탄소량은 279,650mg/min이 된다. 표 7은 버섯재배사에 매일 입고하는 입병수와 매일 출고되는 입병수를 기준으로 이산화탄소 발생량을 계산한 것이다.

표 7에서 배양실 내부에 발생하는 이산화탄소량이 계산되므로 적정 이산화탄소 농도를 유지하기 위한 필요환기량은 식(11)로 부터 계산될 수 있다. 배양실 내부의 이산화탄소 농도를 2,000ppm으로 유지한다는 조건을 넣어 배양실의 필요환기량을 산출하면 표 8과 같다. 표 8에서 나타난 배양실의 필요환기량은 버섯재배사에서 버섯재배를 위해 버려지는 에너지이고, 딸기 하우스에서는 딸기 재배에서 활용되는 에너지를 말한다.

표 8 일당 입병 수에 따른 배양실의 필요환기량

일당 입병수(병)	배양일 (일)	CO2발생량 (mg/min/병)	CO2발생량 (mg/min)	필요환기량 (m ³ /min)	필요환기량 (m ³ /hr)
3,000	35	0.47	49,350	13.5	810
5,000	35	0.47	82,250	22.5	1,351
10,000	35	0.47	164,500	45.0	2,702
17,000	35	0.47	279,650	76.6	4,594

라. 버섯재배사 규모에 따른 딸기 재배면적산출

본 연구에서는 버섯재배사의 규모에 따른 딸기 재배면적을 산출하고자 한다. 버섯재배사의 이산화탄소 농도를 2,000ppm으로 유지하기 위해서는 환기가 필요하고, 환기되는 저온공기와 이산화탄소는 딸기하우스의 딸기 재배에 유용한 자원이 된다. 본 연구에서는 버섯재배사의 규

모를 매일 입고되고 또한 출고되는 버섯의 입병수를 기준으로 하였다.

버섯재배사의 적정 이산화탄소 농도를 유지하기 위해 지속적으로 환기하는 공기량을 필요환기량이라고 하며, 필요환기량은 표 8에 나타난 바가 있다. 버섯재배사에서 배출되는 필요환기량으로 재배면적을 구할 때는 먼저 필요환기량에 따른 재배면적의 기준을 설정하여야 하는데, 본 연구에서는 현재 경기도 안성시 금곡리 소재 농장에 설치된 공조시스템과 딸기재배면적을 기준으로 하였다. 이것은 현재의 버섯농장에 구현된 공조시스템이 여름철 딸기재배에 적절하다는 것을 전제하며, 보다 정확한 기준을 설정하기 위해서는 추후 지속적 연구를 통해 관련 데이터를 최적화하여야 한다.

버섯재배사의 규모에 따른 딸기 재배면적을 산출하려면, 딸기재배면적당 필요환기량을 계산하여야 한다. 딸기재배면적당 필요환기량은 본 연구의 딸기재배면적과 필요환기량을 기준으로 산출하였고, 산출된 기준 값으로 딸기재배면적을 산출하면 표 9와 같다.

표 9 버섯재배사 규모에 따른 딸기 재배면적 산출

일당 입병수(병)	필요환기량(m ³ /hr)	딸기재배면적당 필요환기량((m ³ /hr/m ²))	딸기재배면적(m ²)
3,000	810	15.3	53
5,000	1,351	15.3	88
10,000	2,702	15.3	176
17,000	4,594	15.3	300

기준 : 필요환기량 1,173m³/hr, 딸기재배면적 76.5m²(300mm 원통기준)

마. 딸기 재배면적을 위한 버섯재배사 규모 산출

이번에는 딸기를 재배하기 위한 면적을 위해서 만들어야 하는 버섯재배사의 규모를 산출해보았다. 사계절 딸기재배를 위해서는 버섯재배사에서 지속적으로 저온의 공기를 공급해 주어야 하는데, 이때 딸기재배를 위해서 버섯재배사에서 공급되어야 할 공기량을 요구환기량이라고 하자.

딸기재배면적이 정해지면 딸기관부의 온도를 제어하기 위해 요구환기량이 결정되어지고, 이러한 요구환기량으로 버섯재배사 규모를 산출할 수 있다. 표 10은 딸기재배면적에 따른 버섯재배사의 규모를 산출한 것이며, 버섯재배사의 규모는 버섯배양실에 매일 입고와 출고되는 버섯의 입병수로 기준으로 나타내었다.

표 10 딸기재배면적에 따른 버섯재배사 규모 산출

딸기재배면적(m ²)	요구환기량(m ³ /hr)	병당 환기량(m ³ /hr/병)	일당 입병수(병)
50	767	0.36	2,128
100	1,533	0.36	4,255
300	4,600	0.36	12,766
500	7,667	0.36	21,277

기준 : 요구환기량 1,173m³/hr, 딸기재배면적 76.5m²(300mm 원통기준)

【제 1협동과제 : 버섯재배사 방출에너지 활용 딸기 연중재배기술 개발】

1) 연구목적

버섯재배사 방출되는 공기를 효과적으로 활용하기 위해 국부냉난방 기술을 적용하여 여름철 고온과 동절기 저온에서 딸기를 안정적으로 생산하고 에너지를 절감함에 목적을 두고 추진하였다.

2) 연구방법

<1년차 : 연구시설 기반조성 기간으로 성과목표 없음

가. 원통형 다단베드 크기별 설치 경제성 자료(기준 : 10a)

○ 원통베드 φ150mm 식재가능본수 : 10,098주
- m당 4호포트(상단지름12cm) 5.5개×포트당 1주×베드길이17m×3단×36열 - 36열 : 10a면적 하우스 크기를 가로50×세로20m 가정, 가로폭 50m에서 베드+베드사이 너비 1.39m 적용시 36열 설치가능
○ 원통베드 φ200mm 식재가능본수 : 17,340주
- m당 5호 포트(상단지름15cm) 5개×포트당 2주×17m×3단×34열 - 34열 : 베드+베드사이공간 너비 1.45m적용시 34열 설치가능
○ 원통베드 φ250mm 식재가능본수 : 16,830주
- m당 5호 포트(상단지름15cm) 5개×포트당 2주×17m×3단×33열 - 33열 : 베드+베드사이공간 너비 1.50m적용시 33열 설치가능
○ 원통형베드 φ250mm 설치비 = 71,700천원
<베드전체길이 1,683m : 17m×3단×33열>
①PVC파이프 : 15,000천원 - 파이프구입비 : 12,622천원(베드전체길이 1,683m, 4m 파이프 420개 소요) 30,000원×420개 = 12,622천원, - 펀칭비용 2,378천원
②강파이프 및 잡자재 : 15,000천원 - 강파이프 전체길이 3,300m, φ38mm/1.5T/6m 550개 소요×개당22,000원 = 12,100천원 - 잡자재 2,900천원
③점적핀 세트 : 8,500천원 - 점적핀/호스 갯수 16,830개×개당 500원
④양액공급배관 : 2,200천원 - m당 1,300원×1,683m = 2,200천원
⑤포그노즐, 배관, 연결잡자재, 펌프 3마력 2대 : 9,000천원 - 포그노즐 3,360천원(4구3,360개, 개당1,000원), 배관2,600천원(φ20mm PE 2,000m, m당 1,300원) - 연결잡자재 1,000천원, 펌프 3마력 2대 2,000천원
⑥양액공급시스템 12,000천원
⑦인건비 : 10,000천원(5명×10일×200천원)
○ 원통형베드 φ200mm 설치비 : 71,410천원
- 원통형베드 250mm 설치비 71,700천원에서 파이프 단가 절감 2,100천원(4m 1개당 5,000원 절감×420개) - 원통형베드 250mm 대비 원통형 파이프 1열 추가(33→34열) 설치비 1,810천원
○ 원통형베드 φ150mm 설치비 : 72,730천원
- 원통형베드 250mm 설치비 71,700천원에서 파이프 단가 절감 4,200천원(4m 1개당 10,000원 절감×420개) - 250mm파이프대비 베드+베드사이 너비 축소에 따른 베드 3열 추가(33→36열)비용 5,430천원 - 파이프단가 250mm 30,000원, 200mm 25,000원, 150mm 20,000원
○ 고설베드 설치비: 30,000천원
①베드설치 및 잡자재 : 18,000천원 - 베드길이 : 561m(17m×33열) - 베드설치비(인건비 포함) m당 30,000원×561m = 16,830천원, 잡자재 1,170천원
②양액공급시스템 12,000천원

<2년차 : 2017. 1. 1 ~ 12. 31>

가. 시험품종

하절기에는 사계성 딸기 ‘샤롯데’, 동절기에는 일계성딸기 ‘설향’ 을 시험에 이용하였다.

나. 유동식 원통형 3단베드 설치

버섯재배사에서 방출되는 공기를 활용한 딸기재배 효과를 확인하기 위해 지름 300mm 원통형 플라스틱 파이프를 이용하여 베드각도가 자동으로 기울여 지는 유동식 원통형 3단 베드를 설치하였다. 유동식 원통형 다단베드는 다단으로 인해 하단부가 차광되는 문제를 해소하기 위해 생육시 약 60° 각도로 기울여 태양광을 하단부까지 균일하게 받을 수 있게 하고 수확 및 생육관리 등 기타 작업시에는 곧게 세워 작업이 용이하도록 하였다. (그림 2). 원통형 베드 길이는 18m, 높이는 약 2m, 베드와 베드간격은 50cm로 제작하였다. 또한, 베드 상단에 지름 약 15cm의 구멍을 3cm 간격으로 뚫어 6호 망포트(직경 200mm) 놓고 딸기를 2주씩 식재하였다.

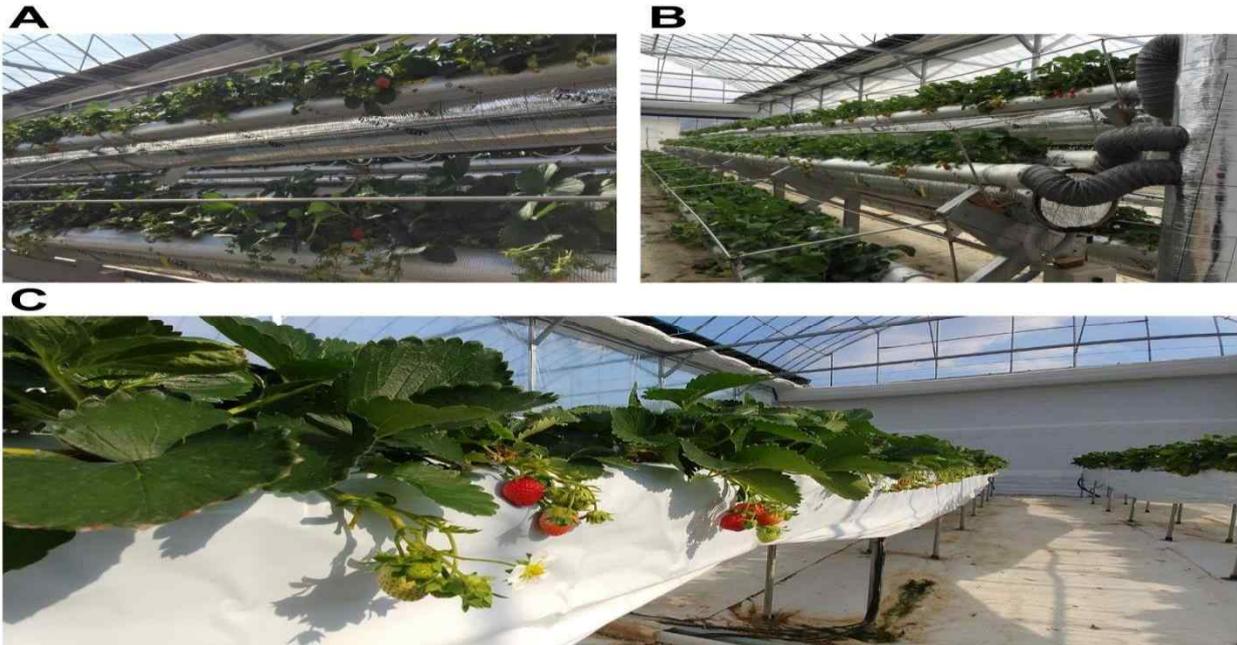


그림 2. 원통형 다단베드 및 고설베드 설치

(A) 원통형 다단베드(수직형), (B) 원통형 다단베드(스윙형), (C) 고설베드

다. 양액조성 및 공급방법

원통형 베드내부에 $\phi 22\text{mm}$ 파이프를 설치하고 약 50cm 간격으로 노즐을 설치하여 양액을 분무하였다. 분무시간은 매 5분마다 1분씩 공급되도록 조절하였다. 6호 망포트에 점적핀을 2개씩 꽂아 점적관수도 병행하였다. 대조구(고설베드)에는 20cm간격으로 2주씩 식재하였다. 양액 조성은 일본의 원시표준액을 사용하였으며 공급방법은 표 1과 같다.

표 1. 양액조성 및 공급조건

양액 종류	양액 조성 (g/100 l)		공급방법 및 급액량	EC(dS/m)
원 시 표준액	<ul style="list-style-type: none"> · A액 -KNO₃ : 1,515 -Ca(NO₃)₂·4H₂O : 2,360 -Fe-EDTA : 230 · B액 --KNO₃ : 1,515 -MgSO₄·7H₂O : 1,230 -NH₄NO₃ : 580 	<ul style="list-style-type: none"> · 미량원소 -H₃BO₃ : 30 -MnSO₄·4H₂O : 20 -ZnSO₄·7H₂O : 2.2 -CuSO₄·5H₂O : 0.5 -Na₂MoO₄·2H₂O : 0.2 	<ul style="list-style-type: none"> · 공급방법 -점적관수+분무경 -점적관수(대조) · 급액량(ml/주) -정식~2주 : 150 -2주~4주 : 200 -4주~수확 : 250 	<ul style="list-style-type: none"> · 정식초기~2주 : 0.8 · 2주~4주 : 1.0 · 4주~비대기 : 1.3 · 비대기~수확기 : 1.5

라. 국부 냉난방 장치 및 덕터 설치

버섯재배사에서 방출되는 공기의 냉난방 효과를 높이기 위해 원통형 베드 상단에 국부 냉난방 장치를 그림 3과 같이 설치하였다. 원통형 베드 측면에 철제 프레임을 사각으로 고정하고 0.1mm PE비닐을 감싸 비닐터널 형태로 설치하여 버섯재배사로부터 공급되는 공기가 비닐 터널 내부에 갇힐 수 있도록 하였다. 또한 원통형 베드 상단에 지름 100mm 파이프를 망포트 양쪽으로 설치하고 일정간격으로 지름 7mm의 구멍을 뚫어 버섯재배사로부터 공급되는 공기가 구멍을 통해 딸기 관부 및 화방 방향으로 배출되도록 하였다. 이 파이프는 메인 파이프와 연결되도록 하였다.

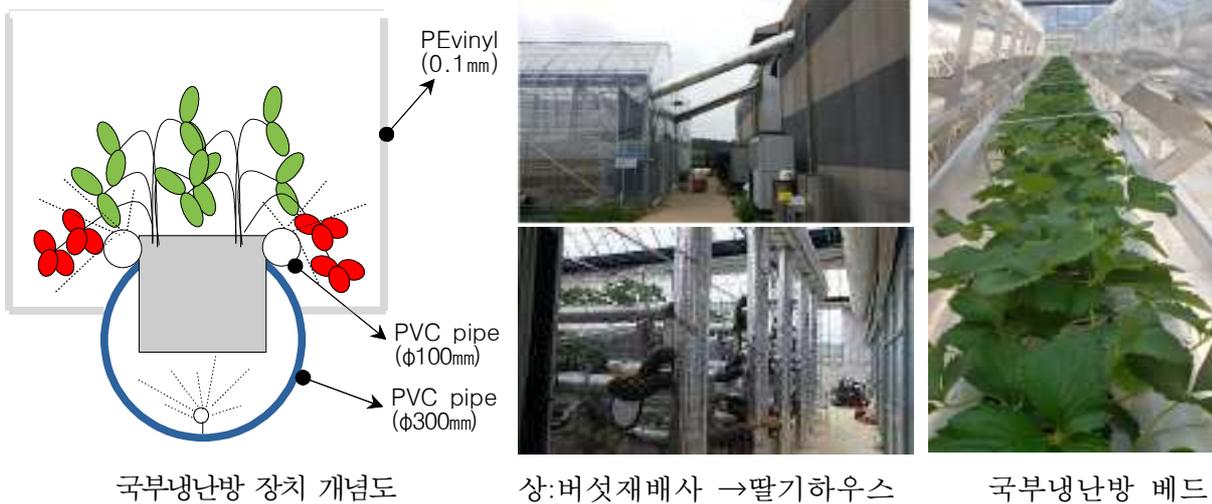


그림 3. 국부냉난방 장치 및 덕터설치

마. 딸기 정식

사계성 딸기 ‘샤롯데’는 6월 1일 정식하여 9월 30일까지 생육상황을 조사 분석하였고, 일계성 딸기 ‘설향’ 등 8월 26일 정식하여 생육관리 하였으며, 배지는 딸기전용 상토(The zone, Jincheon, Korea)를 사용하였다.

바. 생육환경 및 생육특성 조사

딸기하우스 내부의 온도, CO₂ 농도, 광량, 양액 EC 등을 조사하기 위해 원통형 베드 국부냉난방 장치 내부와 고설베드, 하우스에 온도, CO₂, 광량 센스를 설치하여 일정시간 간격으로 생육환경이 측정되도록 데이터 로깅장치를 설치하였다. 또한, 딸기의 생육상황을 비교하기 위해 초장, 엽병장, 관부직경, 엽록소함량(SPAD)등을 측정하였고, 개화수, 정상과, 기형과, 과실 중량, 크기, 상품성, 수량 등을 농촌진흥청 생육조사기준(2002, RDA)에 의거 수행하였다.

3. 연구결과

가. 국부냉난방 베드 위치별 온도

버섯재배사로부터 공급되는 공기의 주간 온도변화 정도를 측정하였다. 버섯배재사 내부 온도가 15℃로 설정하여 공급하였으며, 국부 냉난방을 설치한 베드내부는 공기가 배출되는

구멍에 근접한 부위는 20℃ 내외가 될 수 있도록 하였고 배출구에서 가장 멀리 떨어진 곳의 온도는 25℃ 정도로 측정되었다(그림 4).

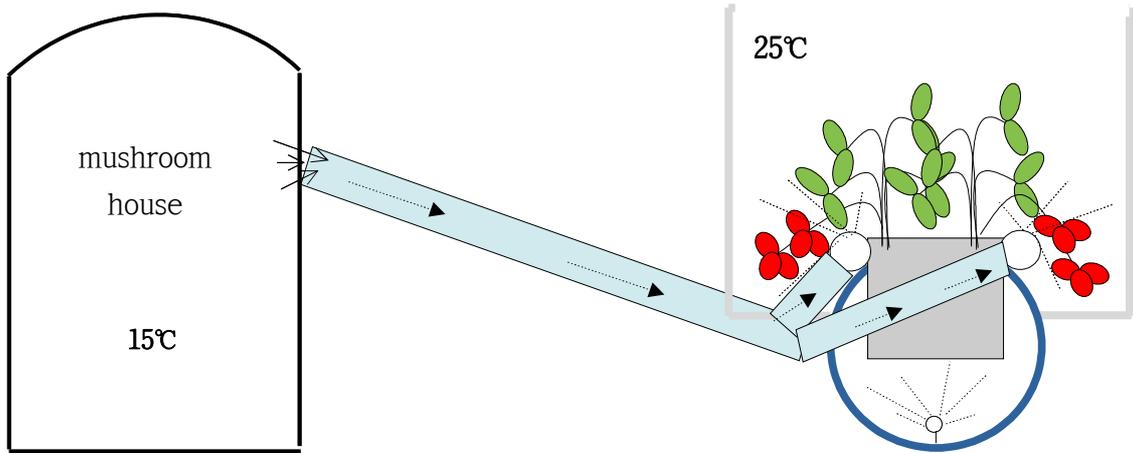


그림 4. 국부냉난방 배드 내부 온도

나. 온도변화

7~9월 중순까지 고온기의 버섯재배사, 딸기 하우스 내부, 외기, 배드종류별 주야간 온도 변화를 조사하였다(그림 5, 그림 6). 주간의 경우는 오전 6시부터 오후 6시까지 수집했으며 버섯재배사 내부온도는 평균 14.5℃, 하우스 내부온도는 평균 30℃, 외기 온도 평균 26.1℃를 유지하였다. 고설베드에 식재된 딸기 관부온도는 최고 33.7℃, 최저 19.5℃, 평균 27.2℃를 유지한 반면, 원통형베드의 딸기 관부온도는 최고 25.3℃, 최저 17.5℃, 평균 21.2℃를 유지하여 평균 온도에서 고설베드와 6℃의 온도 차이를 보였다.

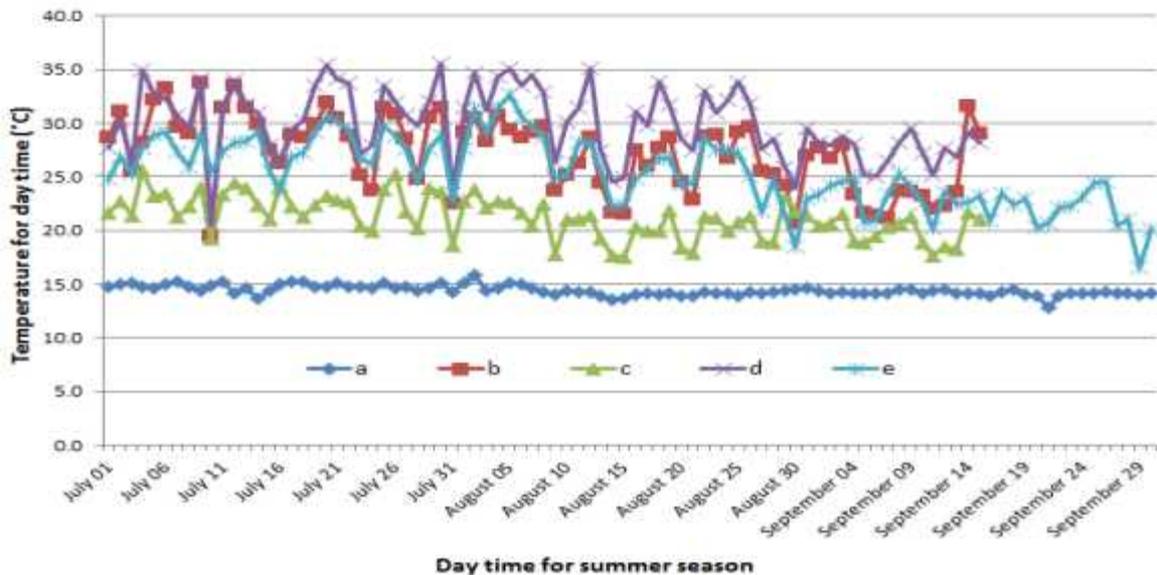


그림 5. 하우스 내부 각 부위별 주간 온도 변화

a: 버섯재배사 실내온도, b: 고설베드 딸기 관부온도, c: 원통형베드 딸기 관부온도, d: 비닐하우스 온도, e: 외기 온도

야간의 경우는 오후 6시부터 다음날 오전 6시까지 수집하였으며 버섯재배사 내부온도는 평균 14.2℃, 하우스 내부온도는 평균 22.1℃, 외기 온도는 평균 22.3℃를 유지하였다. 고설베드의 딸기 관부온도는 최고 27.3℃, 최저 15.9℃, 평균 21.6℃를 유지한 반면, 원통형베드의 딸기관부 온도는 최고 21.0℃, 최저 15.1℃, 평균 17.9℃를 유지하여 평균온도에서 고설베드와 3.7℃의 온도 차이를 나타냈다.

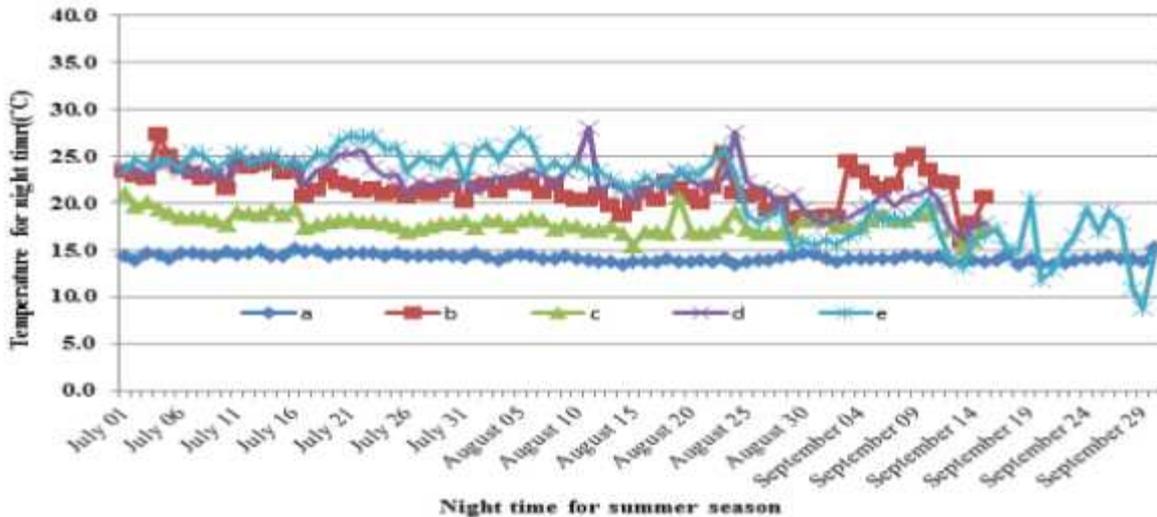


그림 6. 하우스 내부 각 부위별 야간 온도 변화

a:버섯재배사 실내온도, b:고설베드 딸기관부온도, c:원통형베드 딸기관부온도, d:비닐하우스 온도, e:외기온도

열화상카메라를 이용하여 2017년도 7월 1일 오후 2시에 원통형 베드 국부냉난방 장치 내부를 단별로 촬영하여, 고설베드와 비교하였다. 원통형베드 단별로는 하단(1단)의 최저온도가 20.0℃로 가장 낮았고 상단(2단, 3단)으로 갈수록 높아지는 경향이었으나, 고설베드 관부최저 온도 29.6℃ 보다는 낮았고 영상이미지는 그림 7과 같다.

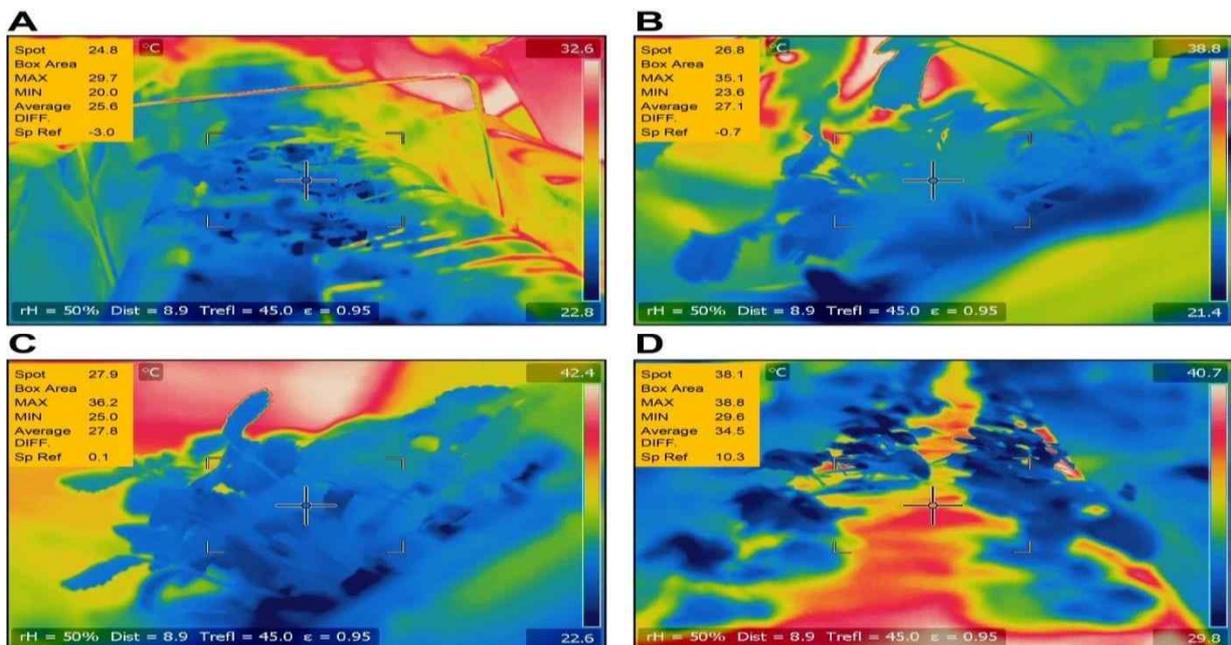


그림 7. 관부주변 온도 열화상 카메라 영상 이미지

(A)원통형 다단베드 1단, (B)원통형 다단베드 2단, (C)원통형 다단베드 3단, (D)고설베드(대조구)

다. 광량변화

주간 평균 광량분포는 2017년 7월 1일부터 15일까지 매일 오전 6시부터 오후 6시까지 고설베드와 원통형베드 3단이 비슷하였고, 원통형 베드의 하단(2단, 1단)으로 갈수록 그들이 생겨 상대적으로 광분포가 낮은 경향을 보였다(그림 8).

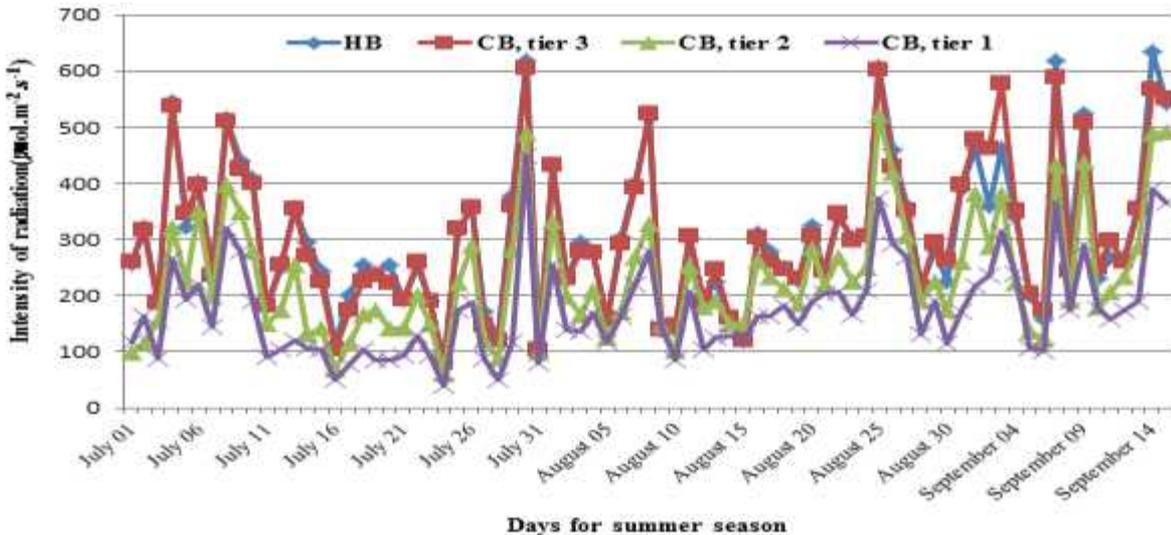


그림 8. 일중평균 광량 분포

(HB)고설베드, (CB,Tier3)원통형 다단베드 3단(CB, Tier3) 원통형 다단베드 2단(CB, Tier2) 원통형 다단베드(CB, Tier 1)

라. CO₂농도 변화

평균 CO₂농도는 매일 8분 간격으로 2017년 7월부터 9월까지 3개월간 조사 하였으며, 버섯 재배사 내부가 약 1,000~2,200ppm 범위를 유지되고 있었으며, 원통형 다단베드 국부냉난방베드 내부는 약 550~1,000ppm을 유지하였다. 반면 고설베드의 경우 약 500ppm 범위를 유지하였다(그림 9). 이산화탄소는 딸기의 광합성에 필수요소이며, 식물성장촉진을 위해 탄산시비를 하기도 한다. 버섯재배사에서 배출되는 공기 중에는 약 1000~2,200ppm 정도의 이산화탄소를 함유하고 있었다.

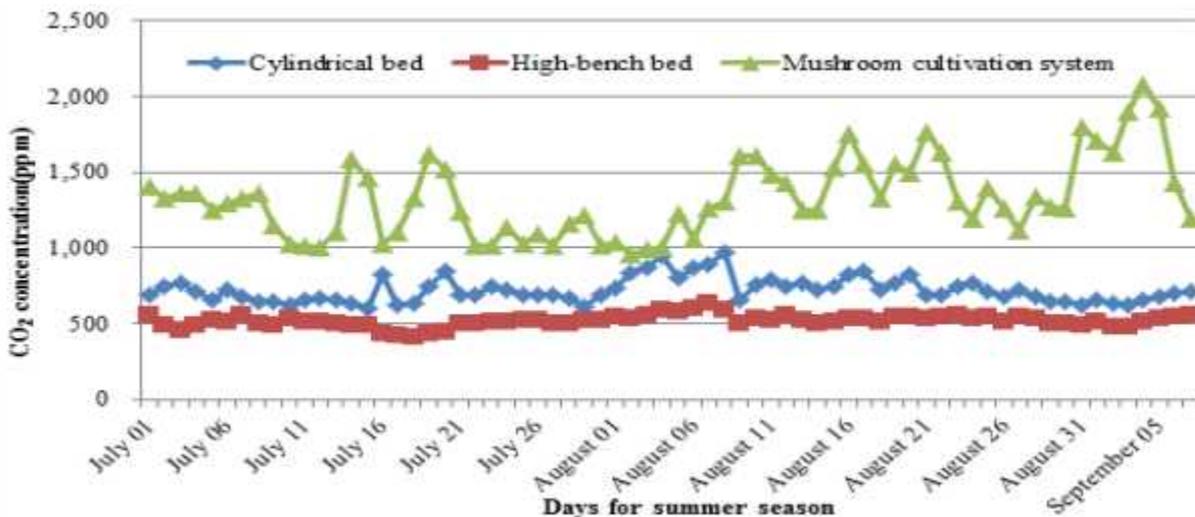
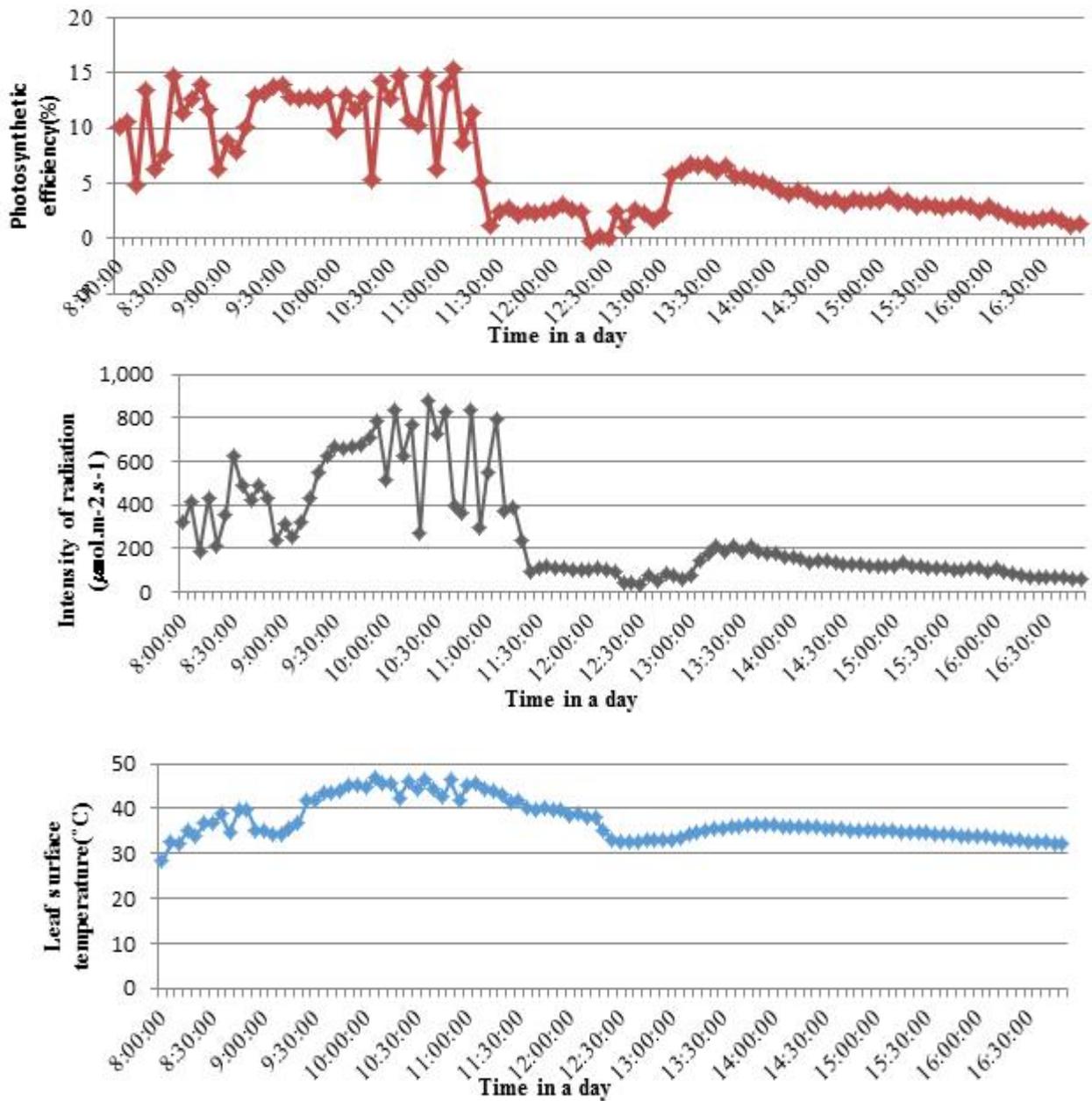


그림 9. 평균 CO₂농도 분포

마. 광합성량의 경시적 변화

2017년 7월 1일에 버섯재배사 방출공기를 공급시킨 딸기하우스의 내부 광량, 잎표면 온도 등에 따른 딸기 잎일 광합성량의 경시적 변화를 조사한 결과는 그림 10과 같다.

광합성량은 광량과 잎표면 온도의 변화 분포와 매우 유사한 패턴을 나타내고 있었다. 일반적으로 식물체의 광합성은 오전중에 가장 많은 양이 생성되고 있다는 패턴과 동일하게 버섯재배사 방출공기로 재배하고 있는 딸기도 오전 8시부터 11시에 가장 높은 광합성율을 보이고 있었으며, 오후시간대로 갈수록 낮아지는 경향을 보였다. 또한, 광량도 높아질수록, 엽온이 증가할 수록 광합성량이 증가되고 있었다.



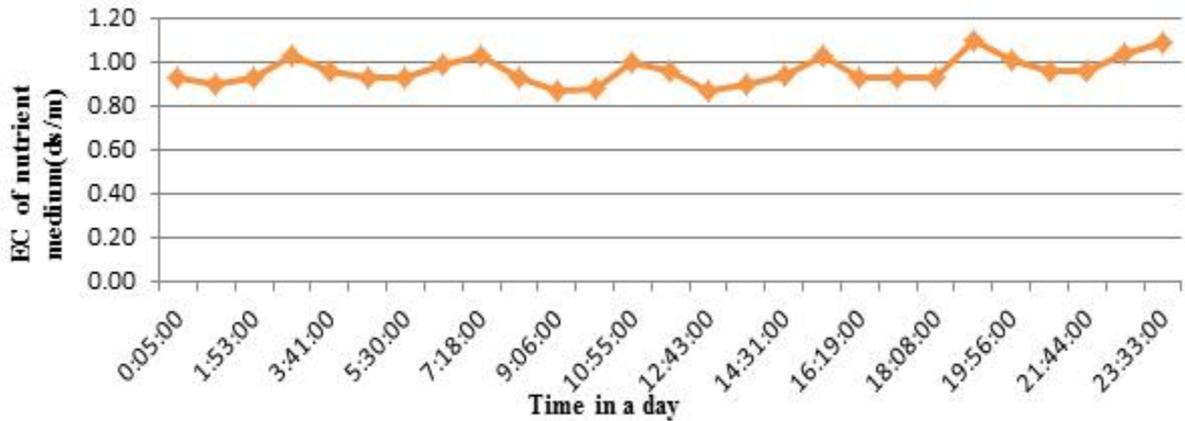


그림 10. 주요 환경과 딸기 광합성량의 일중 경시적 변화

바. 딸기 생육특성

2017년 6월 2일에 정식 후 7월부터 원통형 다단베드 국부냉방장치를 설치한 베드처리구와 대조구로 고설베드의 딸기에 대한 생육특성을 조사한 결과이다(표 2).

원통형 다단베드의 경우 초장 19.6cm, 엽병장 11.9cm, 엽폭 13.0cm, 관부직경 12.6mm, 엽록소 함량 44.7이었고 고설베드의 경우 초장 21.0cm, 엽병장 13.9cm, 엽폭 12.4cm, 관부직경 15.6mm, 엽록소 함량은 42.9로 원통형 다단베드와 고설베드의 형태별 딸기 초기생육에는 큰 차이는 없었다.

표 2. 베드형태 및 냉각방법별 딸기 생육 특성

베드타입	초장 (cm)	엽병장 (cm)	엽폭 (cm)	엽수 (개)	관부직경 (mm)	엽록소함량 (SPAD)
원통형다단베드 (국부냉각)	19.6±3.9	11.9±3.4	13.0±2.2	11.7±3.9	12.6±3.2	44.7±1.2
고설베드(대조)	21.0±3.4	13.9±2.5	12.4±2.1	17.6±7.1	15.6±2.1	42.9±1.8

사. 착과특성 및 당/산도

베드형태별로 딸기 주당화수, 정상과수, 기형과수, 당도 등에 대한 착과특성 조사 결과는 표 3과 같다. 원통형 다단베드의 경우 주당화수 6.7개/화, 정상과수 3.1개/화, 기형과수 3.5개/화, 당도 8.8brix, 산도 0.8%로 조사되었다. 고설베드의 경우 주당화수 6.3개/화, 정상과수 2.3개/화, 기형과수 4.0개/화, 당도 7.9brix, 산도 0.8%이었다. 원통형 다단베드에서 주당화수와 정상과수가 많았고 당도는 0.9brix 높았다. 하지만, 절대적으로 기형과수가 많았던 것은 ‘샤롯데’ 품종의 특성과 고온에 의한 수정벌의 수정활동 둔화로 인한 여러 요인으로 판단된다.

표 3. 착과 특성 및 당/산도

베드타입	주당화수 (화/주)	정상과수 (개/주)	기형과수 (개/주)	당도 (brix)	산도 (%)	당산비
원통형다단베드 (국부냉각)	6.7±1.9	3.1±1.2	3.5±1.6	8.8±1.5	0.8±0.1	11.0
고설베드(대조)	6.3±2.2	2.3±1.4	4.0±1.7	7.9±0.8	0.8±0.2	9.9

아. 과실통계 및 수량

베드형태별로 과실의 크기, 품질 및 수량을 2화방까지의 조사 결과이다(표4, 그림9). 원통형 다단베드의 경우 과장 31.5mm, 과경 31.2mm, 과중 13.7g, 주당수량 109.6g, 상품 비율 73%, 중품 비율 27%인 반면, 고설베드의 경우 과장 26.5mm, 과경 27.7mm, 과중 11.2g, 주당수량 38.6, 상품 비율 13%, 중품비율 47%, 하품비율 40%로 원통형 다단베드 국부냉난방 처리구에서 생육된 사계성 딸기의 품질과 수량이 고설베드보다는 양호한 경향을 보였다.

표 4. 과실통계 및 수량

베드타입	과 장 (mm)	과 경 (mm)	과 중 (g)	주당수량 (g)	품질비율 (%)	수량 (g/m ²)
원통형다단베드 (국부냉각)	31.5±3.2	31.2±2.2	13.7±0.8	109.6±44.6	상 73 중 27 하 0	3,288
고설베드(대조)	26.5±4.5	27.7±3.3	11.2±2.0	38.6±20.8	상 13 중 47 하 40	386

*품질기준 : 과장 상 30mm이상, 중 25~30mm, 하 25mm이하



고설베드



다단 원통형 베드(3단)

그림 11. ‘샤롯데’ 과실 및 생육상태

일계성 딸기(설향)은 2017년 8월 26일 정식 후 생육중(그림 12)이며, 3차년도 상반기(5월) 까지 생육특성과 수량 등을 조사하여 결과를 제시할 예정이며, 아울러 원통형 다단베드 국부냉난방 장치를 이용하여 겨울철 별도의 난방을 하지 않을 예정이다.



고설베드



다단 원통형 베드(3단)

그림 12. 일계성 딸기 ‘설향’ 생육상태

<3년차 : 2018. 1. 1 ~ 12. 31>

1. 연구목적

3년차 시험은 딸기연중생산을 위해 버섯재배시 방출되는 공기를 활용한 새로운 스윙 원통형 다단시스템의 적합성과 버섯재배사 방출공기에 함유된 이산화탄소가 딸기의 품질에 미치는 영향을 구명하고자 실시하였다.

2. 연구방법

가. 시험품종

2017년도 8월 26일에 정식한 일계성딸기 ‘설향’ (Nonsan, CNRES, Korea)을 2018년도 5월 하순까지 동절기 생육을 검토하였고, 하절기에는 사계성 딸기 ‘샤롯데’ (Ciref, Maison, France)와 추가로 무하(Daegwalreoung, RDA, Korea)를 2018년도 3월 21일에 정식하여 9월 30일까지 생육조사 하였다.

나. 시험방법

2년차 시험과 동일한 스윙타입의 원통형베드에 버섯재배사의 방출공기를 24시간 공급하였으며(그림 11), 일계성 딸기 ‘설향’ 전체처리구를 버섯재배사 방출되는 공기의 냉난방 효과를 높이기 위해 원통형 베드 상단에 국부 냉난방 장치를 설치한 후 원통형 베드 측면에 철제 프레임을 사각으로 고정하고 0.1mm PE비닐을 감싸 비닐터널 형태로 패드를 설치하여 버섯재배사로부터 공급되는 공기가 비닐 터널내부에 갇힐 수 있도록 하였다. 또한 원통형 베드 상단에 지름 100mm파이프를 망포트 양쪽으로 설치하고 일정간격으로 지름 7mm의 구멍을 뚫어 버섯재배사로부터 공급되는 공기가 구멍을 통해 딸기 관부 및 화방 방향으로 배출되도록 하였다. 이 파이프는 메인 파이프와 연결되도록 하였다.사계성 딸기 ‘샤롯데’와 ‘무하’는 3월 21일 정식 후 4월부터 비닐패드를 품종별 설치여부를 달리하여 패드 효과를 추가 검증하고자 하였다.

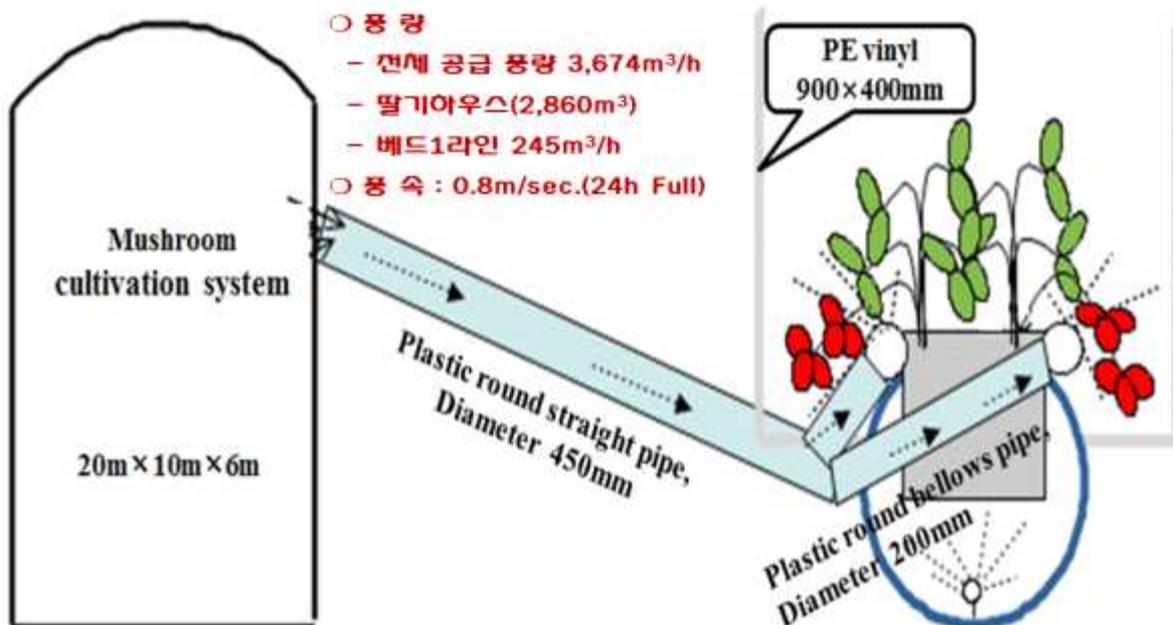


그림 11. 처리 모식도

다. 양액 공급

일계성 딸기 ‘설향’은 일본원시 표준액을 사용하였으며(표 1), 사계성 딸기 ‘샤롯데’와 ‘무하’는 네덜란드 PBG 양액(Sonneveld, C., 2002)을 조성하여 공급하였다(표 5). 6호 망포트에 심겨진 근권부에는 양액분무경을 매 5분마다 1분씩 분사시켜 주었고 점적핀으로 관부부위에 양액을 1일 3회 1분 30초씩 공급되도록 조절하였다. 대조구인 고설베드는 20cm 간격으로 2주씩 식재하였고 분무로 망포트의 근권부 처리 대신 점적핀으로 관부 주위에서 원통형 베드와 동일한 양액공급을 처리하였다.

표 5. 양액조성 및 공급조건

양액 종류	양액조성 (g/100 l)		공급방법 및 급액량	EC(dS/m)
네덜란드 PBG 양액	· A액 -KNO ₃ : 4,180 -Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O : 3,880 -FeEDTA : 200	· 미량원소 -H ₃ BO ₃ : 30 -MnSO ₄ ·4H ₂ O : 20 -ZnSO ₄ ·7H ₂ O : 2.2 -CuSO ₄ ·5H ₂ O : 0.5 -Na ₂ MoO ₄ ·2H ₂ O : 0.2	· 공급방법 -점적관수+분무경 -점적관수(대조)	· 정식초기~2주 : 0.8 · 2주~4주 : 1.0 · 4주~비대기 : 1.3 · 비대기~수확기 : 1.5
	· B액 -KNO ₃ : 4,180 -MgSO ₄ ·7H ₂ O : 3,110 -NH ₄ NO ₃ : 1,200		· 급액량(ml/주) -정식~2주 : 150 -2주~4주 : 200 -4주~수확 : 250	

라. 생육환경 측정 및 생육조사

딸기하우스 내부의 온도, CO₂ 농도, 광량, 양액 EC 등을 조사하기 위해 원통형 베드국부 냉난방 장치내부와 고설베드 하우스에 온·습도센서(TR-7iU, T&D Corp., Japan), CO₂센서(CD-2000M, ELT-Sensor Corp., Korea), 광량센서(STL Corp., Korea), EC센서(Mirae-SC, Corp., Korea)를 설치하여 일정시간 간격으로 생육환경이 측정되도록 하여 누적된 데이터 수집하여 사용하였다. 또한 딸기의 생육상황을 비교하기 위해 잎의 엽록소 함량은 SPAD-502(Minolta camera Co, Ltd, Japan)로, 광합성량 측정은 Li-6400(Li-COR Inc., Lincoln, NE, USA)로 딸기의 중간잎을 대상으로 측정하였고, 냉방처리에 따른 식물체 주변의 온도측정을 위해 열화상 카메라(Fluke Corp., Everett, WA, USA)로 촬영하였으며, 초장, 엽수, 개화수, 정상과수, 과실의 중량과 크기, 수량 등은 농촌진흥청 농사시험연구조사기준(RDA, 2012)을 중심으로 조사하였다.

3. 연구결과

가. 국부냉난방 베드 위치별 온도

2017 ~ 2018(2년차) 7월 한달동안의 시험처리 베드 위치별 평균온도는 그림 12와 같았다. 버섯재배사 방출공기시 평균온도는 14.5°C였으며, 딸기하우스 내부 온도는 평균 30°C인 반면 버섯재배사에서 덕트를 통해 국부냉방이 이루어지고 있는 스윙 다단베드의 단별 평균 엽온은 26.1°C내외로 유지가 되고 있었다. 또한, 저온성 작물인 딸기의 패드설치구의 관부주변 온도는 평균 21.2°C로 고온기에 딸기생육에 적합한 온도가 조성되고 있었다.

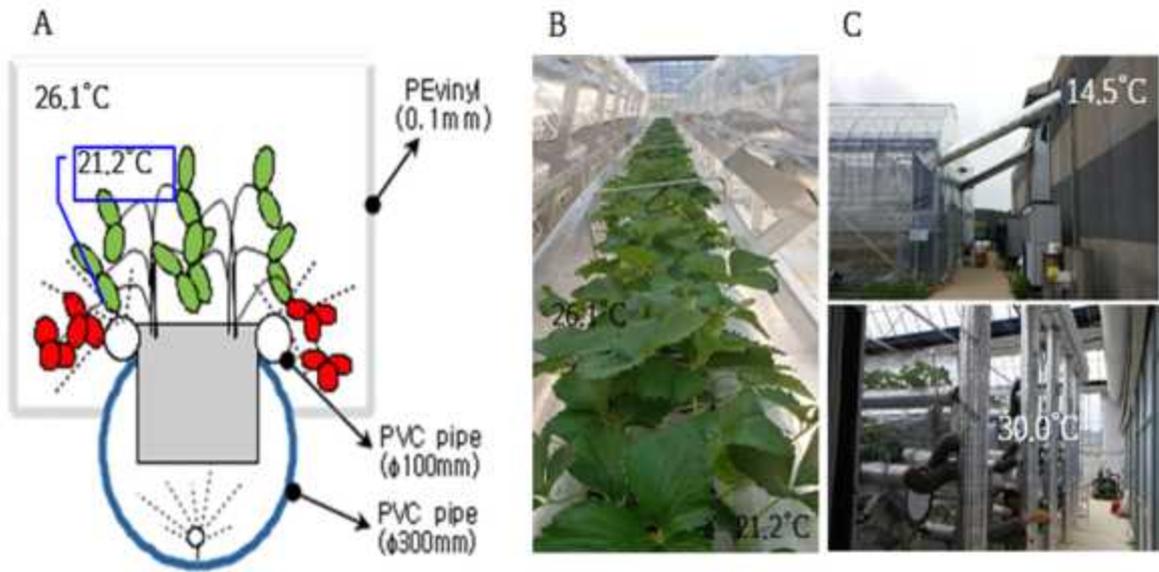
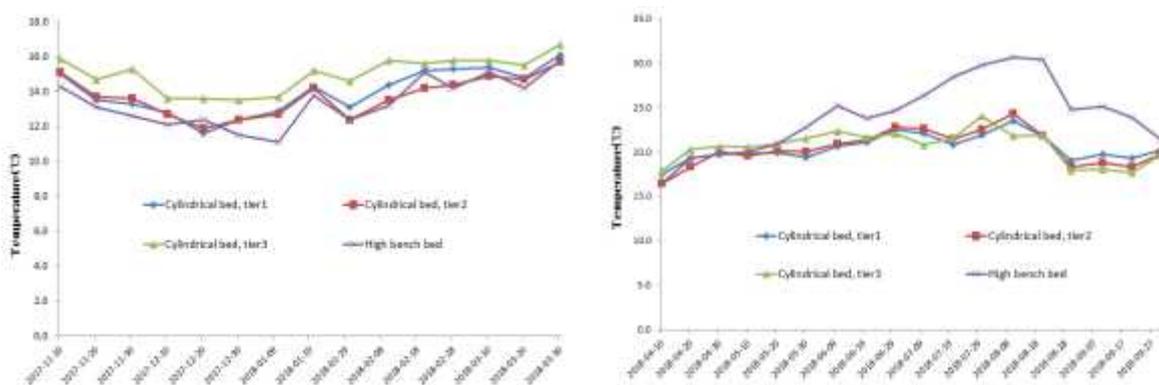


그림 12. 원통형 다단베드 모식도

(A)국부냉방 시스템 (B)국부냉방을 통한 딸기재배 모습 (C)상:버섯재배사-딸기하우스; 하: 주덕트 - 국부냉방장치

나. 생육환경 조사

딸기 연중생산을 위한 일계성 딸기 ‘설향’ 과 사계성 딸기 ‘샤롯데’, ‘무하’ 를 정식한 후 일계성 딸기는 11월부터 3월 30일까지 사계성 딸기는 4월부터 9월 30일까지 딸기 관부주변의 온도변화를 측정 한 결과는 그림 13과 같다. 겨울을 경과하는 일계성 딸기의 경우 버섯재배사 방출공기 평균온도 15°C 에서 무가온 딸기하우스의 원통형 단별 평균온도와 고설베드의 온도는 평균 12 ~ 16°C 이하가 유지가 되어 지속적인 화방출현 저해와 벌의 수정활동에 지장을 초래하여 과실 수확량을 감소시킨 것으로 판단되었으며, 여름철 고온을 경과하는 사계성 딸기의 경우는 원통형 단별 평균 관부온도는 20°C 이하인 반면 고설베드의 경우는 5월 하순부터 9월 상순 까지 서서히 온도상승이 이루어져 8월에는 25°C ~ 30°C 까지 상승하는 경향으로 버섯재배사 차가운 방출공기가 단별로 공급되어 관부주변 온도상승을 억제시키는 효과를 나타내는 것을 알 수 있었다. 히트펌프와 지하수로 생성된 15°C 의 냉수를 냉축열조에 저장하였다가 냉수배관을 통해 냉방처리 한 결과 8월 ~ 9월의 관부 평균온도가 19 ~ 24°C 로 무처리구에 비해 3°C 낮게 유지된다는 문 등(2014)보고와 유사한 연구결과를 보여주었다.

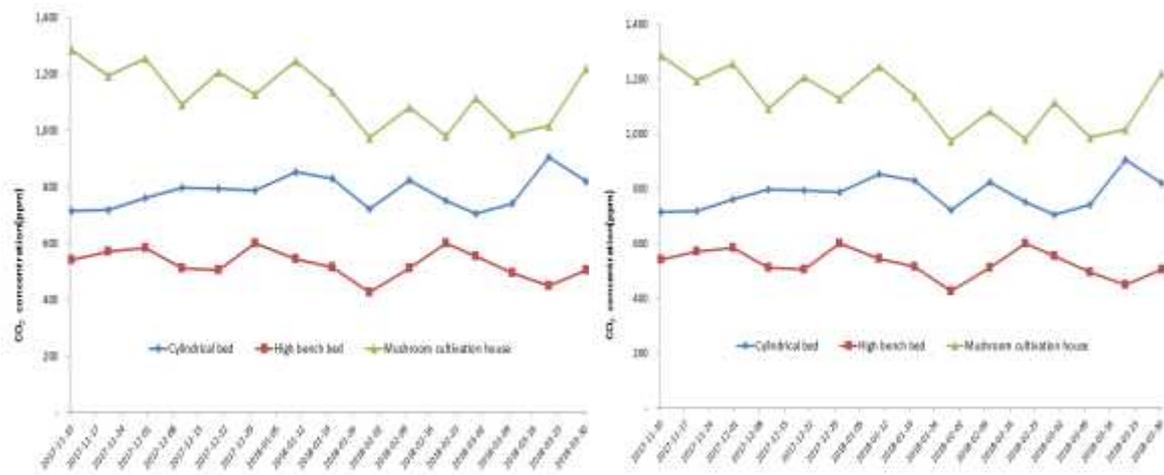


일계성 딸기 『설향』

사계성 딸기 『샤롯데』, 『무하』

그림 13. 딸기 관부주변 온도 변화

또한, 버섯재배사에서 방출되어 딸기하우스로 공급되는 이산화탄소의 농도변화를 관부주변 온도와 동일한 기간 동안 측정된 결과(그림 14), 일계성 딸기와 사계성 딸기 모두 버섯재배사 방출시의 평균 이산화탄소 농도는 1,300 ~ 1,400ppm, 방출공기가 단별로 공급되는 원통형 다단 베드는 700 ~ 900ppm, 방출공기가 공급되지 않는 고설베드의 경우는 400 ~ 500ppm 수준이었다. 일반적으로 환기가 이루어지지 않는 겨울철의 경우 시설원에 작물의 일출 후 탄산시비 고갈로 인위적으로 탄산시비를 수행하여 오전 광합성을 촉진시키는 경우가 많으나, 버섯재배사 방출 공기 활용 딸기하우스내 이산화탄소 농도는 적합한 수준이 꾸준히 유지가 되고 있음을 알 수 있었다. 딸기의 경우 품종에 따라 약간씩 다르지만 평균 이산화탄소 농도를 800ppm수준으로 사용하여 유지시켜주면 광합성량이 2 ~ 3배까지 증가한다고 한 바, 이 실험에서의 원통형 다단 베드에 공급되는 이산화탄소 수준은 고설베드에 비해 300 ~ 400ppm정도가 높은 수준으로 직전 등(1995)의 적합 이산화탄소 농도와 유사하였다.

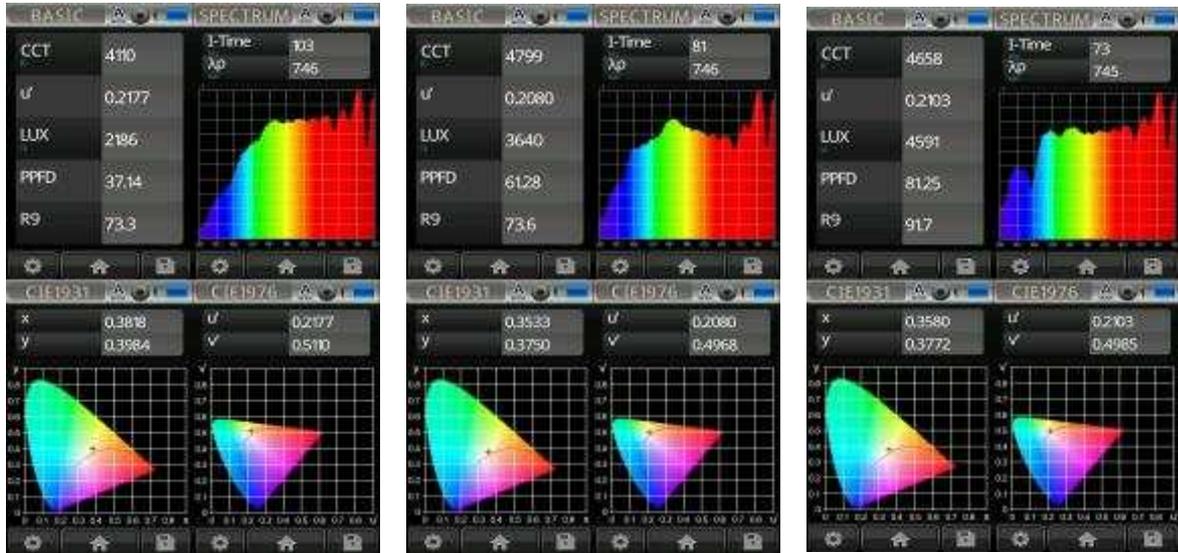


일계성 딸기 『설향』

사계성 딸기 『샤롯데』, 『무하』

그림 14. 버섯재배사 방출 이산화탄소 농도 변화

2018년도 8월 30일 기준으로 원통형 3단 베드의 광질조사 결과는 그림 15와 같다. 특히, 딸기 광합성에 가장 적합한 광량을 나타내는 각 단별 PPF(광합성 유효광량자속밀도)는 1단 37.14, 2단 61.28, 3단 81.25 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 순으로 하단에서 상단으로 올라갈수록 단별로 20 ~ 30 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 증가하는 양상을 보였다. 태양광의 기울기에 따라 하단으로 갈수록 음지가 발생이 많아져 PPF가 지속적으로 감소하는 패턴을 보여 하단으로 갈수록 광합성량 감소 뿐만아니라 딸기 수량에도 영향을 미치는 것으로 판단되었다.



1단

2단

3단

그림 15. 원통형 다단베드별 광질 분포

버섯재배사 방출공기가 딸기하우스내 단별 설치된 관의 구멍을 통해 공급되는 공기가 발산되는 것을 방지하기 위한 ㄷ자형의 터널형태의 비닐패드를 전체 처리구에 설치한 일계성 딸기 ‘설향’에 대한 원통형 단별 배지 온도와 습도를 측정 한 결과는 그림 16과 같다. 정식 후 첫 생육조사시점인 11월부터 이듬해 1월 30일까지의 온도는 무가온 원통형 다단베드와 고설베드 모두 16℃ 이하의 저온이 유지되고 있었으며, 배지 습도는 고설베드의 경우가 평균 65% 수준인 반면, 원통형 1단의 경우는 평균 95% 이상, 2단은 평균 80%, 3단의 경우 평균 68%으로 겨울 재배기간동안 유지가 되고 있었다. 특히, 제일 하단인 1단의 경우는 배지의 저온과 과습이 지속적으로 이루어져 딸기 전반적인 생육에 지장을 초래한 것으로 분석되었다.

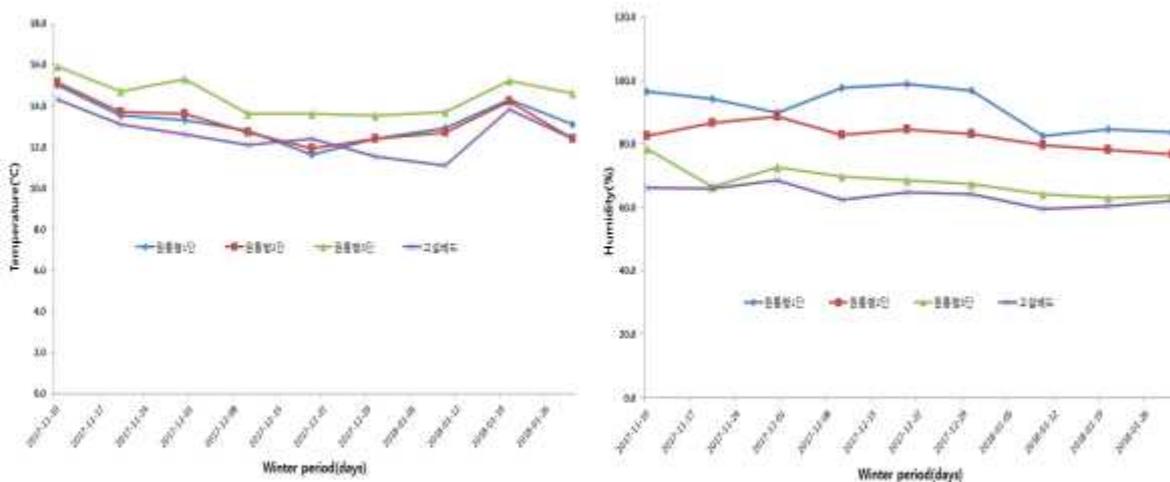


그림 16. 일계성 딸기 ‘설향’의 배지온도와 습도 변화

사계성 딸기 ‘샤롯데’와 ‘무하’를 정식 후 4월부터 24시간 버섯재배사 방출공기를 공급한 원통형 다단시스템의 단별로 비닐패드 설치구와 무처리구를 구분하여 처리하였다. 딸기 하우스

내부의 고온이 지속되기 시작하는 2018년 6월부터 8월까지 3개월간의 배지온도와 습도를 측정 한 결과는 그림 17과 같다. 하절기 폭염이 지속되는 우리나라 기후에서 고랭지를 제외한 중부 지방 평지에서 사계성딸기 재배를 하지 못하는 이유중의 하나는 25℃ 이상의 고온이 지속되면 딸기의 생육이 정지하고 수정이 불량하여 기형과 발생이 많기 때문으로 알려져 있다. 하지만, 여름철 원통형 다단별 평균 배지온도는 1~3단 비닐패드 처리여부와 큰 차이없이 전체처리구 모두 25℃ 이하의 온도를 유지하고 있는 반면, 고설베드는 30℃를 육박하는 고온이 이루어지고 있었다. 또한, 배지 습도의 경우는 비닐패드 처리구가 무처리구에 비해 해당 단별로 평균 20% 정도씩 높은 것으로 나타났다. 특히, 고설베드의 경우는 60% 정도로 고온에 의해 습도가 낮은 수준을 보이기도 하였다. 이에, 딸기의 적정 재배온도인 11~21℃ 수준에서 1℃가 증가할수록 딸기의 과육의 경도가 낮아지는 경향은 75%이상의 습도가 유지될수록 딸기의 과실 경도나 품질이 저하된다는 pyrotis 등(2012)의 연구결과와 동일한 경향을 보였다. 따라서, 여름철 딸기 재배를 위해서는 적정온도 설정과 습도유지가 이루어지는 환경이 조성된 하우스나 온실등의 시설재배에서 고품질 딸기를 생산할 수 있는 여건이 될 수 있을 것으로 판단되었다.

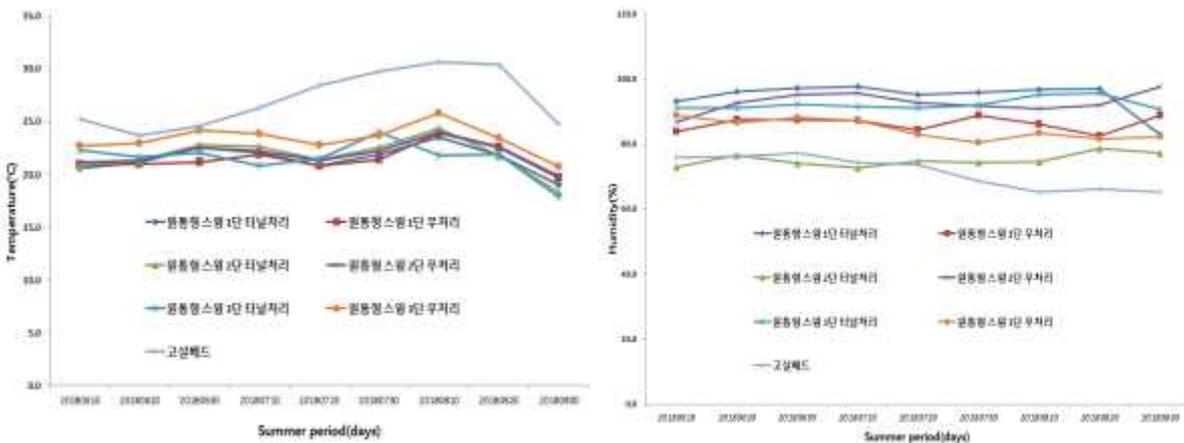
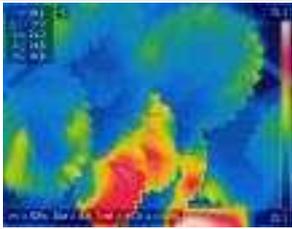
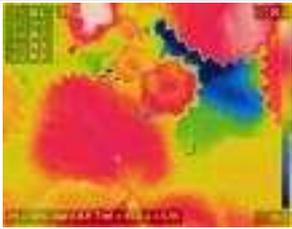
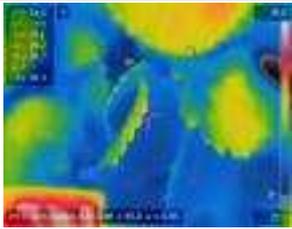
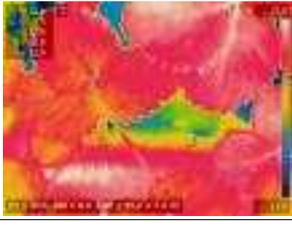
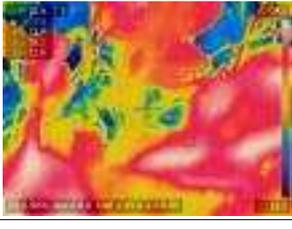
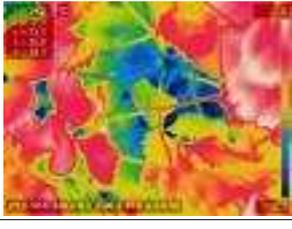
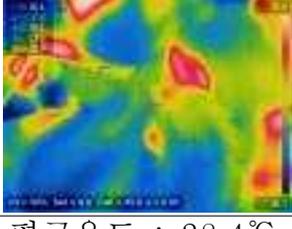
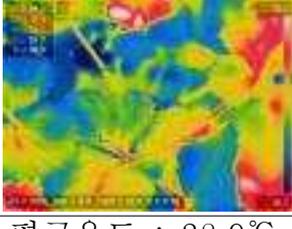
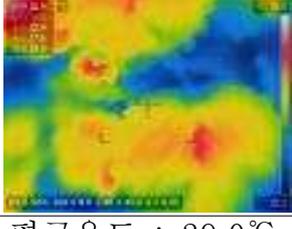
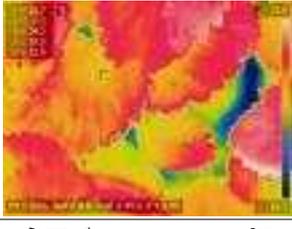
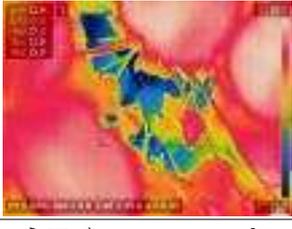
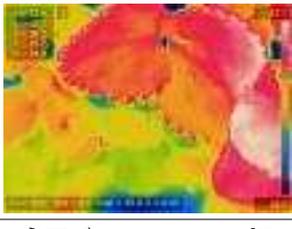
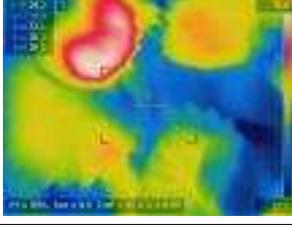
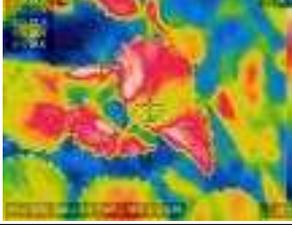
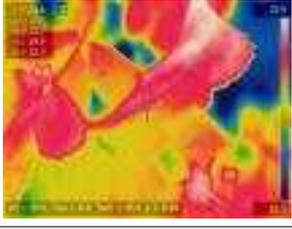
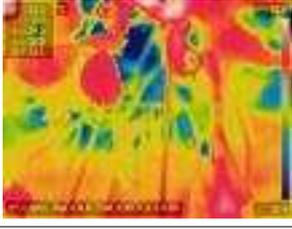
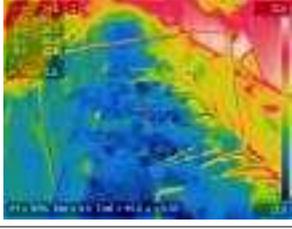


그림 17. 사계성 딸기 ‘무하’의 배지 온도와 습도 변화

2018년도 하절기 6월 3일, 7월 5일, 8월 7일의 딸기 하우스내 딸기 엽온을 열화상 카메라로 측정한 결과는 그림 18과 같다. 사계성 딸기 ‘샤롯데’의 원통형 다단별 비닐패드 처리구와 무처리구를 측정한 이미지로 하단인 1단<2단<3단 순으로 엽온이 높은 경향을 보였으며, 고설베드의 ‘샤롯데’가 7월 5일 오후 2시의 엽온을 32.0℃를 보인 반면, 원통형 1단 비닐패드 처리구는 22.0℃, 무처리구는 28.0℃, 원통형 2단 비닐패드 처리구는 25.0℃, 무처리구는 28.9℃, 원통형 3단 비닐패드 처리구 23.0℃, 무처리구 29.6℃로 비닐패드 처리구가 무처리구에 단별로 차이가 있지만 1단 6℃, 2단 3.9℃, 3단 5.4℃의 차이를 보여주었다. 특히, 버섯재배사 방출공기 공급처리가 없는 고설베드는 30℃가 넘는 고온이 유지가 되고 있었다. 비닐패드 처리방법은 버섯재배사 방출공기의 공급 후 발산을 막아 무처리구에 비해 온도를 감소시킬 수 있었다.

구 분		2018. 6. 3	2018. 7. 5	2018. 8. 7
원통형 1단 베드	비닐패드 무처리			
		평균온도 : 26.6℃	평균온도 : 28.0℃	평균온도 : 28.4℃
	비닐패드 처리			
		평균온도 : 21.0℃	평균온도 : 22.0℃	평균온도 : 23.3℃
원통형 2단 베드	비닐패드 무처리			
		평균온도 : 28.4℃	평균온도 : 28.9℃	평균온도 : 29.0℃
	비닐패드 처리			
		평균온도 : 22.0℃	평균온도 : 25.0℃	평균온도 : 24.9℃
원통형 3단 베드	비닐패드 무처리			
		평균온도 : 29.5℃	평균온도 : 29.6℃	평균온도 : 33.5℃
	비닐패드 처리			
		평균온도 : 22.3℃	평균온도 : 23.0℃	평균온도 : 25.6℃

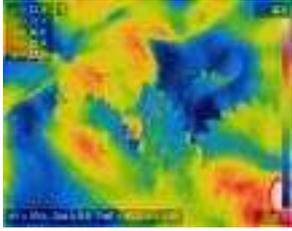
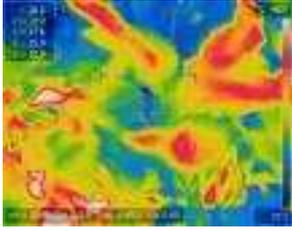
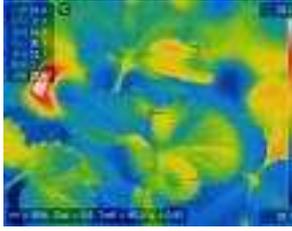
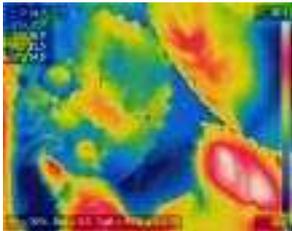
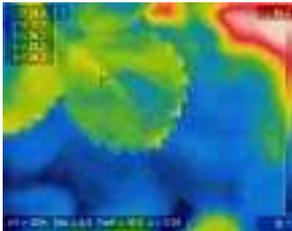
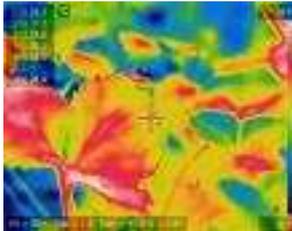
고설 베드	샤롯데			
		평균온도 : 33.3℃	평균온도 : 32.0℃	평균온도 : 31.7℃
	설향			
		평균온도 : 34.0℃	평균온도 : 34.3℃	평균온도 : 33.0℃

그림 18. 고온기 하우스내의 딸기엽온 측정

원통형 다단베드의 단별 처리구와 대조구인 고설베드의 광량 분포결과(그림 19)로, 일계성 딸기 ‘설향’ 은 2017년 11월 1일부터 30일까지 1개월간 매일 오전8시부터 오후5시까지, 사계성 딸기 ‘무하’ 는 2018년 7월 1일부터 30일 매일 오전 6시부터 오후 6시까지의 평균 광량 분포 값이다.

일계성 딸기 ‘설향’ 의 경우 원통형 베드중 3단이 500 $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$, 고설베드는 200 ~ 300 $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 인 반면 원통형 베드 2단과 1단의 경우는 100 $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 수준으로 시설내 딸기 적합 광량인 250 $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 이하로 광량이 부족한 실정이었다. 사계성 딸기 ‘무하’ 의 경우도 유사한 경향을 보였으며 계절 특성상 광량 분포량이 일계성 딸기재배기간 보다 높은 수준이었지만, 하단인 원통형 1단과 2단은 상단인 3단의 그늘로 인한 광량부족 현상을 보였다.

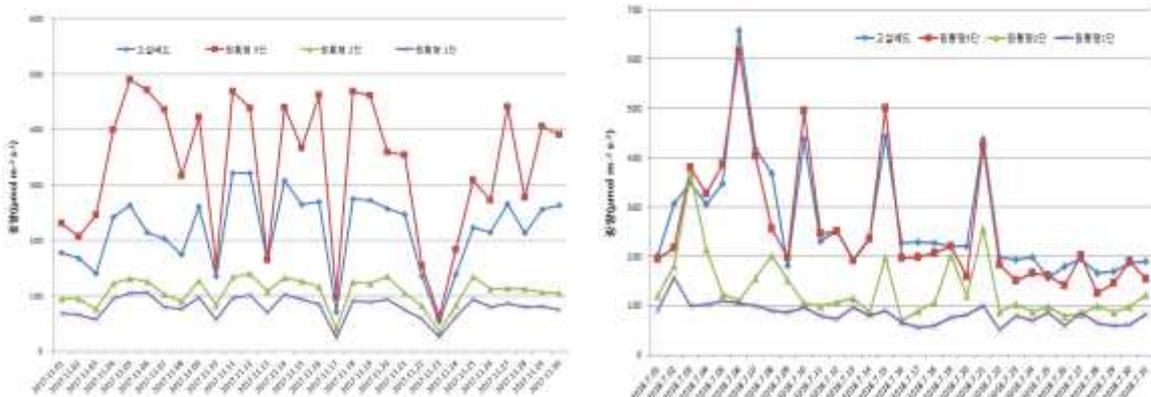


그림 19. 계절별 딸기하우스내 광량분포

라. 연중 딸기생육 조사

2017년 8월 26일에 정식한 일계성 딸기 ‘설향’ 의 생육특성, 착과특성 및 과실 특성 조사는 11월 15일부터 매일 1회씩 5월 하순까지 6회방 과실 수확까지 수행한 결과는 표 6, 그림 20과 같다. 원통형 다단베드의 평균초장 32.4cm, 엽병장 22.3cm, 엽수 17.1매, 관부직경 17.8mm일때

고설베드의 딸기 생육은 각각 29.1cm, 16.3cm, 14.7, 15.4mm로 원통형 다단베드의 평균 생육이 더 양호한 경향을 보였다. 또한, 원통형 다단베드의 주당화수 49.1화인 반면 고설베드는 40.6화였으며, 원통형 다단베드의 평균수확량은 4,045 kg/10a인 반면, 고설베드 2,168 kg/10a로 원통형 베드 처리구에서 2배 가량 높게 생산되는 것으로 분석되었으나, 그림 12에서 서술한 겨울철 무가온 하우스에서 일계성 딸기 ‘설향’을 16℃ 이하 온도에 지속적으로 노출 되면서 수정벌의 활동이 부진하고 주기적인 여름철의 천측창 개폐등으로 환기나 통풍을 통한 자연 수정까지 이루어져야 하지만 수정이 제대로 이루어지지 못해 기형과 발생이 많고 수확량도 당초 기대했던 수치에는 도달하지 못한 것을 알 수 있었다.

또한, 원통형 다단베드의 과장 37.2mm, 과폭 31.6mm인 반면 고설베드는 각각 34.7mm, 29.4mm로 과실크기도 큰 경향이었으며, 원통형다단 베드의 과실 당도는 10.3일때 9.1로 높은 반면 산도는 낮아 당산비가 높은 경향이었으며, 이산화탄소가 함유된 버섯재배사 방출공기가 지속적으로 공급되면서 딸기 과피색을 측정 한 Lab 수치중 L값은 낮아지고 적색인 a값이 높아지고 상대적으로 b값은 낮아지고 있어 적색인 딸기 과피색 유지가 잘 발현되어 품질 향상이 이루어진 것으로 판단되었다.

따라서, 느타리버섯과 팽이버섯 위주의 버섯재배사 방출공기로 100% 의존하는 겨울철 딸기 재배는 용이하지 않았으며, 버섯재배사의 방출 공기를 활용하고자 하면 22℃ 이상의 고온성버섯 배양이 이루어질 수 있는 표고버섯, 새송이버섯 등으로 대체하여 배양되는 방출공기를 사용 할 경우는 추가 설비비 부담이 없어 가능성이 있을 것으로 보이며 추후 연구과제가 수행되어야 할 것이다.

표 6. 일계성 딸기 ‘설향’ 생육특성, 착과특성 및 과실 특성조사

베드타입	초장 (cm)	엽장 (cm)	엽병장 (cm)	엽폭 (cm)	엽수 (매)	관부직경 (mm)	SPAD
원통형 다단베드	32.4±3.9	14.5±1.1	22.2±3.4	18.6±2.2	17.1±3.9	17.8±3.2	44.7±1.2
고설베드 (대조)	29.1±3.4	15.8±1.5	16.3±2.5	16.6±2.1	14.7±7.1	15.4±2.1	43.3±1.8
구 분	주당화수 (화/주)	정상착과수 (개/주)	기형과수 (개/주)	평균과중 (g)	착과율 (%)	주당수량 (g)	수량 ¹⁾ (kg/10a)
원통형 다단베드	49.1±1.9	38.6±1.2	11.5±1.6	14.7±0.8	71.3	4045	4,045
고설베드 (대조)	40.6±2.2	30.5±1.4	10.1±1.7	12.5±2.0	66.9	255.1	2,168

구 분	과 장 (mm)	과 폭 (mm)	과 색			당도 (brix)	산도 (%)	당산비
			L	a	b			
원통형 다단베드	37.2±3.2	31.6±2.2	26.8	+12.5	+7.3	10.3±1.5	0.9±0.1	11.4
고설베드 (대조)	34.7±4.5	29.4±3.3	29.0	+9.7	+9.0	9.1±0.8	1.0±0.2	9.1



원통형베드+공기방출 냉방+비닐패드



고설베드

그림 20. 일계성 딸기 ‘설향’ 재배전경

2018년 3월 21일에 정식한 사계성 딸기 ‘샤롯데’와 ‘무하’의 생육특성, 착과특성 및 과실 특성 조사는 5월 9일부터 매일 1회씩 9월 하순까지 5화방 과실 수확까지 수행한 결과는 표 7, 그림 21과 같다. 사계성 딸기의 경우 품종별 원통형 다단베드의 비닐패드 처리여부를 구분하여 처리하여 수행하였다. 원통형 다단베드의 두 품종 모두 비닐패드 처리가 무처리구에 비해서는 평균 초장, 엽병장, 엽수, 관부직경 및 SPAD 생육특성이 약간씩 양호한 결과를 보여주었으며, 고설베드와 비교할 경우 ‘무하’ 품종의 원통형 다단베드 비닐패드 처리시에는 초장이 33.4cm, 무처리일 경우는 30.3cm인 반면 고설베드에서는 29.6cm로 다른 생육특성과 비슷한 양상을 보여 주었다. 고온기 착과율은 원통형다단 각 단별과 고설베드를 포함한 전체 처리구가 70% 이하로 사계성 딸기 두 품종의 관부 주변온도는 버섯재배사 방출공기의 주기적인 공급에 의해 딸기 생육에 적합한 온도가 유지되지만 하우스 내부의 온도는 30℃ 내외로 고온, 수정별의 비닐패드내 접근 어려움과 과습에 의한 수정별 활동 지연을 유발하는 것을 알 수 있었다. 이에 사계성 딸기 ‘무하’, ‘샤롯데’ 수확량은 원통형 다단베드의 경우 비닐패드 처리와 무처리구가 유의성이 없는 것으로 분석되었으며, 고설베드 수확량보다는 원통형 다단베드 처리구가 30% 이상 증수되었다.

또한, 원통형 다단베드의 비닐패드 처리시 ‘무하’ 품종의 과장 35.5mm, 과폭 27.9mm인 반면 고설베드는 각각 32.1mm, 26.6mm로 과실크기도 버섯재배사 시원한 방출공기의 지속적인 공급으로 보다 큰 경향이었으며, 원통형다단 베드의 과실 당도는 8.7일때 7.0로 높은 반면 산도는 낮아 당산비가 높은 경향이었으나, 여름철 고온으로 겨울철 일계성 딸기에 비해 당도가 낮고 산도는 높아짐을 나타내었다.

표 7. 사계성 딸기 ‘무하’, ‘샤롯데’ 생육특성, 착과특성 및 과실 특성조사

구 분		초장 (cm)	엽병장 (cm)	엽폭 (cm)	엽수 (매)	관부직경 (mm)	SPAD	
원통형 다단베드	무 하	비닐패드	33.4±5.9	22.6±5.4	15.5±2.2	14.2±5.1	18.0±2.0	50.2±1.8
		무처리	30.3±4.5	20.6±4.6	15.6±2.1	10.5±3.1	17.6±2.1	44.8±1.9
	샤롯데	비닐패드	30.7±3.8	23.3±4.4	15.3±1.8	15.7±5.2	16.7±1.9	41.5±0.6
		무처리	30.4±3.5	20.0±4.2	15.9±2.2	12.8±2.9	17.0±2.0	40.9±1.0
고설베드 (대조)	무 하	29.6±5.2	20.4±5.0	13.9±4.6	14.3±4.4	16.1±2.2	43.8±1.8	
	샤롯데	28.6±3.5	19.4±4.1	14.2±4.7	10.5±5.4	15.1±2.1	38.7±1.9	

구 분		주당화수 (화/주)	정상착과수 (개/주)	기형과수 (개/주)	평균과중 (g)	착과율 (%)	주당수량 (g)	수 량 (kg/10a)	
원통형 다단베드	무하	비닐패드	32.8±1.1	22.4±0.8	10.4±0.6	11.5±3.2	68.3	257.6	2,576
		무처리	29.2±1.3	20.2±1.0	9.0±1.0	11.0±2.1	69.1	221.9	2,219
	샤롯데	비닐패드	32.5±1.4	21.0±1.0	11.5±1.1	13.8±3.2	64.6	289.7	2,897
		무처리	31.2±1.5	19.0±1.3	12.2±1.2	12.2±2.4	60.9	231.8	2,318
고설베드 (대조)	무 하	30.2±1.2	20.5±1.4	9.7±1.3	10.1±2.3	67.8	206.8	1,758	
	샤롯데	28.6±1.6	17.2±1.6	11.4±1.6	12.8±2.2	63.6	232.8	1,979	

구 분		과 장 (mm)	과 경 (mm)	과 색			당도 (brix)	산도 (%)	당산비	
				L	a	b				
원통형 다단베드	무 하	비닐패드	35.5±3.4	27.9±2.2	19.9	+13.8	4.7	8.7±0.8	0.8±0.4	10.9
		무처리	33.4±2.9	26.2±3.0	20.1	+12.4	4.9	8.0±1.1	1.2±0.6	6.7
	샤롯데	비닐패드	29.6±3.2	31.3±3.0	19.1	+13.2	4.8	8.4±1.1	0.9±0.4	9.3
		무처리	28.4±2.4	29.9±2.6	21.5	+12.6	5.0	7.5±1.2	1.2±0.4	6.3
고설베드 (대조)	무 하	32.1±2.0	26.6±2.5	22.0	+11.2	5.4	7.0±1.3	1.2±0.4	5.8	
	샤롯데	27.2±1.6	29.8±3.5	21.7	+10.5	5.2	6.8±2.2	1.5±0.4	4.5	



원통형베드+냉방+비닐패드 무처리



고설베드

그림 21. 사계성 딸기 ‘무하’ 재배전경

대기중에는 질소 78%, 산소 21%가 주를 이루고 있으며, 나머지 1%의 구성에는 이산화탄소 0.04%(400ppm)와 아르곤 등이 혼합되어 있는 것으로 알려져 있다. 버섯이 종균 접종 후 초기 배양시기에는 버섯균이 아닌 다른 곰팡이나 세균이 침입하여 오염율을 높이는 우려도 있고 호흡량 급증으로 10,000ppm 이상까지 증가하므로 본 시험에서는 버섯균으로 인공배지 분해가 완료가 되어가는 후기 배양시기에 다른 균의 침입이나 오염을 발생이 적고 농도는 1,600ppm

수준까지 내려가는 느타리버섯(정 등, 2015)과 팽이버섯 후기 배양실의 공기를 이용하였다.

이에 본 시험에서 사용되는 방출공기는 후기 배양시기에 발생하는 느타리버섯과 팽이버섯 재배사의 공기를 인위적으로 딸기하우스에 공급시키는 경우이다. 그림 22는 버섯재배사 방출 공기중 CO₂공급에 따른 딸기 과피색인 적색도에 대한 처리구별 비교 결과로, 일계성 딸기 ‘설향’의 경우 고설베드에 비해 적색도(a) 값이 무가온 하우스내 온도가 외기온도에 의해 상승되는 시점인 1월 하순부터 고설베드 처리구에 비해 원통형다단베드 처리구가 증가되는 경향을 보였으며, 사계성딸기 ‘무하’는 원통형 다단베드중 지속적인 CO₂공급량이 많았던 비닐패드 처리구가 비닐패드 무처리구 보다는 적색도 값이 높고, CO₂가 공급되지 않는 고설베드 처리구는 적색도 값이 가장 낮은 상태를 보였다.

CO₂를 토마토 재배시 공급할 경우 무처리구에 비해 당 함량 증가 함께 수량도 35%까지 증가된다는 보고(Hicklenton & Jolliffe, 1978)와 같이 표 6, 표 7에서 보고한 딸기의 과실특성 조사결과와 같이 고설베드 처리구에 비해 CO₂가 지속적으로 공급된 원통형 다단베드 처리구가 당 함량이 높은 유사결과가 도출되었다.

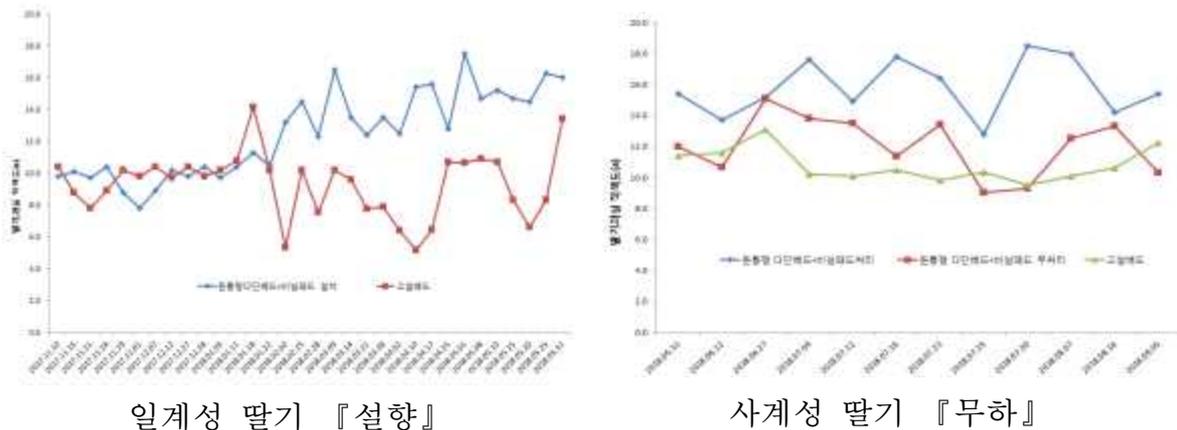


그림 22. 버섯재배사 방출공기중 CO₂ 공급에 따른 딸기 적색도 비교

인위적인 버섯재배사내 방출공기중 CO₂를 무가온 딸기하우스로 공급할 경우 겨울철 딸기재배 효과는 용이하지 않았으나, 고온기 여름철 딸기 재배시에는 딸기 엽온의 하강과 정상적인 재배가 이루어져 품질 향상이 가능한 것으로 판단되었다. 이에, 그림 23은 고온기 버섯재배사 방출공기 농도와 온도가 딸기 주당수량에 미치는 상관관계를 분석한 그래프이다.

평균 CO₂ 농도가 높을수록 딸기의 주당 수량은 증가하는 경향이며, 평균 딸기 관부온도는 낮을수록 평균 주당수량은 증가되는 것으로 분석되었다.

저온성 작물로 알려진 딸기의 경우는 여름철 재배 온도를 25℃ 이하로 관리해야 하는 이유가 분명하게 나타났다.

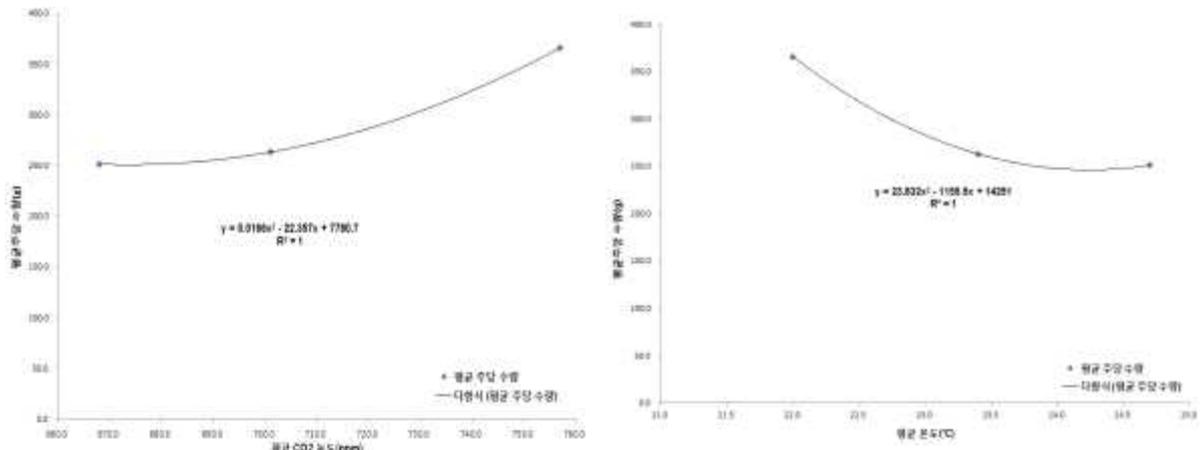


그림 23. 고온기(6월 ~ 8월)버섯재배사 방출 평균 CO₂농도와 온도에 따른 딸기 주당수량

4장. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

4-1. 목표 달성도

구분 (연도)	세부연구목표	달성도 (%)	연구개발 수행내용
1차 년도 (2016)	· 버섯재배사 방출에너지 전달/제어 시스템 설계	100	· 버섯재배사 방출에너지 전달 덕트 시스템 설계
			· 딸기재배 하우스 설치
	· 버섯재배사 방출에너지 활용 딸기재배시설기반 구축		· 원통형 다단베드 설치
			· 국부냉난방 시설 설치
· 양액공급 시설 설치			
2차 년도 (2017)	· 버섯 재배사 방출에너지 전달 시스템 개발	100	· 버섯재배사 방출에너지 전달/제어 시스템 구축
			· 버섯재배사와 딸기하우스간의 열량계산
	· 버섯재배사 방출에너지 활용 딸기 연중재배기술 개발		· 딸기 국부냉난방베드 구축
			· 딸기 연중생산기술 개발
3차 년도 (2018)	· 버섯재배사 방출공기 전달 및 제어 최적화	80	· CO ₂ 공급에 따른 딸기품질 생육특성 조사
	· 버섯재배사 방출공기 함유 CO ₂ 가 딸기품질에 미치는 영향 분석		· 원통형베드 활용 재배매뉴얼 개발

4-2. 관련분야 기여도

- 연중 딸기재배기술 개발 : 지구온난화에 의한 여름철 폭염으로 딸기 여름재배 및 수확이 아주 미미하여 수입산 냉동딸기에 의존하여 각종 음료수, 디저트, 베이커리에 생과 수요 충족을 못하지만 이 기술을 응용 적용시 여름철 딸기 생육적온을 유지와 재배필요기술을 구현 할 수 있을 것으로 판단됨
- 관행 고설베드재배시에는 10a당 8,500주를 재식하지만, 원통형 다단베드에는 10,000주를 정식하여 재배할 수 있어 단위면적당 생산성 향상이 기대됨
- 원통형 다단베드시스템을 활용한 딸기 재배기술 매뉴얼을 제작하여 농가 활용중임
- 저온성 작물인 딸기를 여름철 재배시 생육적온을 위한 버섯재배사 방출공기 활용으로 온도 하강은 가능하였지만, 하단의 단별 분리로 적정 습도 유지에 대한 별도의 기술제어가 필요할 것으로 판단됨

- 버섯농가의 방출에너지를 적극 활용할 수 있는 딸기농가 등 다양한 원예작물농가와의 융복합을 통해 고온기 에너지 절감과 고온기 생산작물의 확대화에 기여

4-3. 목표 미달성 시 원인(사유) 및 차후대책(후속연구의 필요성 등)

- 2017년도 연구결과에 대한 2018년도 SCI 논문게재가 성과목표였으나, 국내외 SCI 논문게재 하기에는 시간상 촉박하여 국내 KSCI로 제출하여 심의중
- 향후 2018년도 연구결과는 국내외 학회에 논문게재 하도록 노력하겠음

5장. 연구결과의 활용 계획 등

5-1. 실용화, 산업화 계획

- 버섯, 딸기 복합재배시스템 등 2건의 원천기술 확보에 따른 밭 딸기와 버섯농가들이 각각 작목에만 집중해 체험농장을 운영중이나 이 시스템 도입을 통해 연중 딸기를 생산할 가능성이 있음
- 기술이전 : 자체 기술이전 완료(1건)
- 추가연구 : 겨울철에는 최소한의 겨울철 생육온도 유지가 가능한 가온하우스에 원통형 다단베드의 하단부분 습도제어 가능기술을 추가 연구시 온습도 제어가능

5-2. 교육, 지도, 홍보 등 기술 확산 계획

- 2년간의 적극적인 언론 홍보로 내방객들의 증가 : 년 0→250명
- 지속적인 안내와 제작한 매뉴얼을 소개 및 배부 : 300부 제작(자체 예산활용)
- 원통형 다단베드에 대한 제작과 정착할 시간이(재배 연구기간)너무 짧아 습도 등 재배관련 연구를 자체적으로 추가 실시하여 지속적인 시설과 기술을 보완 예정임

5-3. 특허, 논문 등 지식재산권 확보 계획

- 논문 : 버섯재배사 방출공기 활용한 사계성 딸기 재배 효과와 관련하여 기초자료 활용
- 특허 : 버섯, 딸기 복합재배시스템 등 2건 특허 심의중임

5-4 인력 양성

- 버섯재배사를 운영할 수 있는 중견기능사를 배출하고 수요가 급증중인 경기도 기술학교 (경기농업대학)등에 딸기, 버섯 등 관련분야 인력양성 수행

6장. 연구과정에서 수집한 해외과학기술 정보

1. Hoogstraten 과채류 연구소 방문

- 1단의 포밍거트를 기반으로하는 행잉베드 설치, 2단 베드의 경우 LED인공광원 설치
- 난방열원은 온수파이프(행잉베드 하단에 2열로 설치) 활용
- 100% 양액 순환 시스템 및 빗물 재활용 대형 우수조 설치



【Hoogstraten 과채류연구소】



【딸기 신품종 특성검정 연구】



【딸기 병해충 친환경 방제용 천적상품】



【LED보광 2단 딸기재배 베드】



【수정벌과 푸른곰팡이균을 이용한
갯빛곰팡이병 방제】



【연구원 Marieke Vervoort과】

2. Demokwekerij 시설원예연구소

- 온실 자동화 장비 : 자동이송장치, 파종장치, 수확기계 등
 - 베드 하단 파이프 설치 : 난방배관, 베드 지지대, 자동운반카트 레일용 등 다용도 활용
- 시설원예자재 : 다양한 행잉거트, 먼지가 적게 끼는 온실유리, 단일 발광 다이오드로 다양한 파장을 빛을 내는 LED, 지하수 및 우수 여과장치, 관수장비와 부품, 피복 및 보온자재 등
- CO₂ 실험챔버 : 광량, CO₂농도를 제어할 수 있는 실험장비



【Demokwekerij 시설원예연구소】



【다양한 형태의 포밍거트 베드 종류】



【1개의 LED전구로 다양한 광원 LED】



【자동이송장치】



【연구용 렌탈 온실】



【CO₂ 실험용 챔버】

7장. 연구개발 결과의 보안등급

- 일반

8장. 국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황

- 해당없음

9장. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전조치 이행실적

○ 목 적

“연구실 안전환경조성에 관한 법률”에 의거하여 실험실 안전관리 시스템 구축을 위한 체계적인 실험실 안전관리를 위해 실험실에서의 주의사항, 실험실 위험수준 확인 방법, 운영인력 확보 및 운영방안, 해당 법규 준수를 위한 자료 구축 등 시스템 개발 필요

○ 실험실 안전관리 매뉴얼 구축

1) 안전한 실험실 관리 및 실험 수행을 위한 활동들의 체계적 정립

2) 세부내용

- 실험실의 안전보건 수칙
- 사고시 응급조치
- 화학실험실에서 사용되는 전기기계 실험기구(설비)에 대한 안전지침
- 유해위험물질 취급에 관한 지침(guideline)
- 실험실 관리
- 화학물질 안전관리
- 실험실 위험성 평가 및 안전 교육 및 훈련

○ 실험실 관리 시스템 구축

1) 실험실에서 행해지는 실험 날짜, 장소, 시간, 실험 실습자와 감독자 구성

2) 실험 일정 관리 기능, 실험 실습일지 작성

3) 실험 일자별 화학물질 및 시약, 표준품 사용량 관리

○ 교육관리 시스템 구축

1) 실험실에서의 안전사고 예방을 위한 교육 시스템 구축

2) 실험실 안전관리 매뉴얼에 교육 횟수와 시기에 대한 규정 작성

3) 실험 실습자 및 감독자에 대하여 교육의 이수 및 인증을 관리할 수 있는 시스템 구축

4) 실험실 안전관리 수준 향상을 위한 교육

5) 안전교육 관리 기능, 실험관련 안전교육 대상 관리, 대상별 안전교육 실시 시기 관리, 대상별 안전교육 내용 관리 및 실험관련 안전교육 실시 실적 관리

○ 화학물질 관리 시스템 구축

1) 물질안전보건자료(material safety data sheet : MSDS)는 필수 관리 요소

2) 법규 및 각종 기술 기준에서 화학물질의 유해성 정보의 확인을 위한 기본요소

3) 연구실험실에서 화학물질의 위험성 및 응급조치사항의 명확한 인지를 위해 실험실내에 MSDS를 반드시 비치

4) 유해화학물질의 성분, 물리적 성질, 위험성, 응급조치사항 및 폐기방법 등의 정보 활용

5) MSDS 시스템을 통하여 사용위치, 사용용도 여러 가지 분류에 따라 신속하게 MSDS를 검색하고 세부 정보를 편리하게 분류해서 볼 수 있는 편의성 제공

○ 자체안전점검 시스템 구축

1) 관리 상태를 체계적이고 정량적으로 평가하기 위해 체크리스트 활용

2) 관리 상태를 표현할 수 있는 항목을 체계적으로 분류

3) 체크리스트 구성

① 일반 안전

- 실험실에서의 음식 취사 여부
 - 비상시 퇴출가능 여부
 - 정리정돈 상태
 - 실험실에서 사용되는 화학물질에 따른 안전보호구 확보
 - 장비별 안전수칙의 게시 여부
- ② 전기 안전
- 실험실내에서 사용되는 전기 시설의 적절성
 - 전기시설의 사용 적정성
 - 전기안전장치의 설치 적정성
- ③ 가스 안전
- 가스용기 안전 보관 여부
 - 가스 누출 검지 장치의 설치 적정성 및 작동 여부
 - 가스 사용 적정성
- ④ 위험물 안전
- 화학물질의 보관 적정성
 - MSDS 비치 여부
 - 화학물질 사용 절차 적정성
- ⑤ 환경 안전
- 폐시약 용기의 성상에 따른 구분 적정성
 - 폐기물 처리 및 보관 적정성
 - 폐액수집 시설 적정성

10장. 연구개발과제의 대표적 연구실적

번호	구분	논문명/특허명/기타	소속 기관명	역할	논문게재지/특허등록국가	impact factor	논문게재일/특허등록일	기 타
1	특허출원	수경재배작물의 연중재배를 제공하는 장치 및 방법	경기도원/레드엠	단독	한국		심의중	
2	특허출원	작물복합재배시스템	경기도원/레드엠	공동	한국		심의중	
3	특허등록	스윙작동형 식물재배장치	레드엠	단독	특허청/한국		특허등록	
4	논문게재	Effects of production of ever-bearing strawberries using cool air from mushroom cultivation house	경기도원	주저자	한국시설환경조절학회지/한국	0.53	2019.1.30	
5	학술발표	버섯재배사 방출에너지 활용 딸기연중생산 시스템 소개	경기도원	주저자	한국시설환경조절학회지/한국		2017.9.20	
6	학술발표	Production of strawberries using cool air from a mushroom cultivation house	경기도원	주저자	한국시설환경조절학회지/한국		2018.10.4	
8	기술이전	스윙작동형 식물재배장치 기술이전	레드엠	단독				
9	홍보실적	버섯재배사 방출공기 활용 딸기 재배 등	경기도원	단독	한국경제, 아리랑 TV 등 다수		2017~2018	

11장. 기타사항 : 증빙자료

가. 산업재산권 특허등록, 출원 : 3건

○ 스윙작동형 식물재배장치(특허 10-1925432)



○ 수정재배작물의 연중재배를 제공하는 장치 및 방법(출원번호10-2017-0089642)

<p>출원사실증명서 CERTIFICATE OF APPLICATION</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>출원번호</th> <th>출원명</th> <th>출원인명</th> <th>출원인주소</th> <th>출원일자</th> <th>출원번호</th> <th>출원명</th> <th>출원인명</th> <th>출원인주소</th> <th>출원일자</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>10-2017-0089642</td> <td>수정재배작물의 연중재배를 제공하는 장치 및 방법</td> <td>이승호</td> <td>경기도 안성시 교향면 구룡동길 64-0</td> <td>2017.07.04</td> <td>10-2017-0084885</td> <td>스윙 작동형 식물재배장치</td> <td>이승호</td> <td>경기도 안성시 교향면 구룡동길 64-0</td> <td>2017.07.04</td> </tr> </tbody> </table>	출원번호	출원명	출원인명	출원인주소	출원일자	출원번호	출원명	출원인명	출원인주소	출원일자	10-2017-0089642	수정재배작물의 연중재배를 제공하는 장치 및 방법	이승호	경기도 안성시 교향면 구룡동길 64-0	2017.07.04	10-2017-0084885	스윙 작동형 식물재배장치	이승호	경기도 안성시 교향면 구룡동길 64-0	2017.07.04	<p>관련연혁</p> <p>출원번호통지서</p> <p>출원일자: 2017.07.04 특기사항: 심사청구(후)공백(본청구) 출원번호: 10-2017-0089642(출원번호 10-2017-0084885(청구)) 출원인명: 이승호(이승호(본청구)) 출원인주소: 경기도 안성시 교향면 구룡동길 64-0 발행처: 관공서 (관공서) (관공서) (관공서) (관공서) (관공서) 발행일: 2018.11.29</p> <p>특허청장</p>	<p>【이 발명물 관련된 국가권리사항】</p> <p>【국제공개번호】 110607-00 【부서명】 농협회사범부 【연구관리 기관명】 농협회사범부(농협회사범부(본청구))</p> <p>【연구사명】 농협회사범부 【연구기관명】 농협회사범부(농협회사범부(본청구))</p>
출원번호	출원명	출원인명	출원인주소	출원일자	출원번호	출원명	출원인명	출원인주소	출원일자													
10-2017-0089642	수정재배작물의 연중재배를 제공하는 장치 및 방법	이승호	경기도 안성시 교향면 구룡동길 64-0	2017.07.04	10-2017-0084885	스윙 작동형 식물재배장치	이승호	경기도 안성시 교향면 구룡동길 64-0	2017.07.04													

○ 복합작물재배 시스템(출원번호 10-2017-0122838)

<p>출원번호통지서</p> <p>출원일자: 2017.07.04 특기사항: 심사청구(후)공백(본청구) 출원번호: 10-2017-0122838(출원번호 10-2017-0122838(청구)) 출원인명: 이승호(이승호(본청구)) 출원인주소: 경기도 안성시 교향면 구룡동길 64-0 발행처: 관공서 (관공서) (관공서) (관공서) (관공서) (관공서) 발행일: 2018.11.29</p> <p>특허청장</p>	<p>관련연혁</p> <p>출원번호통지서</p> <p>출원일자: 2017.07.04 특기사항: 심사청구(후)공백(본청구) 출원번호: 10-2017-0122838(출원번호 10-2017-0122838(청구)) 출원인명: 이승호(이승호(본청구)) 출원인주소: 경기도 안성시 교향면 구룡동길 64-0 발행처: 관공서 (관공서) (관공서) (관공서) (관공서) (관공서) 발행일: 2018.11.29</p> <p>특허청장</p>	<p>【이 발명물 관련된 국가권리사항】</p> <p>【국제공개번호】 110607-00 【부서명】 농협회사범부 【연구관리 기관명】 농협회사범부(농협회사범부(본청구))</p> <p>【연구사명】 농협회사범부 【연구기관명】 농협회사범부(농협회사범부(본청구))</p>
--	--	--

나. 논문발표 : 2편

- 제 목 : 버섯재배사 방출에너지 활용 딸기 연중생산 시스템 소개
- 발표학회 : 2017 한국생물환경조절학회 추계학술대회
- 발표일시 및 장소 : 2017. 9. 20(금), 경상대학교
- 발 표 자 : 농업연구원 하태문(협동과제 책임자)



- 제 목 : Production of strawberries using cool air from a mushroom cultivation house
- 발표학회 : 2018 한국생물환경조절학회 추계학술대회
- 발표일시 및 장소 : 2018. 10.4(목), 연암대학교
- 발 표 자 : 농업연구원 정윤경(협동과제 책임자)



다. 매뉴얼 발간



라. 언론홍보

<2017년도>

- 홍보내용 : 원통형 다단베드를 활용한 딸기 연중생산 기술
- 주요 기사제목 : 신선한 딸기 일년내내 맛보세요!
- 홍보횟수 : 1건 20회(TV2, 일간지9, 전문지 1, 메거진 8)

홍보내용	홍보매체(20건)	기타
경기도농기원, 딸기 연중생산기술 개발 (207.7.29)	이뉴스투데이, 경기신문, 기호일보, 국제뉴스, 경인일보, 서울경제, 아주경제, 메디컬투데이, 머니투데이, 연합뉴스, 경기일보, KNS 뉴스통신, 아시아뉴스통신, 일요신문	
신선한 딸기 사계절 내내 맛보세요	서울신문, 인천일보	
농기원, 연중딸기재배 가능한 기술 개발	중부일보	
1년 낸 딸기 맛 볼수 있다?	SBS뉴스	
딸기 연중생산 기술개발	농수축산신문	
1년 내내 제철 딸기 맛본다.	YTN뉴스	

<2018년도>

- 홍보내용 : 버섯재배사 방출공기 활용 딸기생산기술 개발
- 주요 기사제목 : 버섯재배사 방출공기 활용 딸기생산
- 홍보횟수 : 1건 12회(TV1, 일간지10, 전문지 1)

홍보내용	홍보매체	기타
경기도농기원, 버섯재배사 방출공기활용 딸기생산기술 개발(2018.5.29.)	경기일보, 이뉴스투데이, NSP통신, 일요신문, 경기신문, 인더스트리 뉴스, 농촌여성신문, 뉴스타운, 더리더	
경기도농업기술원 시험연구사업 우수 성과 평가(2018.11.28.)	경기일보	
농기원, 원통형 다단베드 시스템 소개 (2018.12.13.)	아리랑 TV	
버섯재배사 공기 활용 딸기 재배 (2018. 5.31.)	버섯정보신문	
버섯재배사 공기활용 딸기 재배기술 (2018. 7. 4.)	월간버섯(7월호)	

마. 신규인력 채용

<2017년도> : 6명

[제출서류] 준기체역(간접직) 근무역 표준 근무제역서	[제출서류] 우기체역(간접직) 근무역 표준 근무제역서	[제출서류] 준기체역(간접직) 근무역 표준 근무제역서
<p>김용우(2017.2.13.~8.18)</p>	<p>김민애(2017.1.31.~4.10)</p>	<p>이현주(2017.1.2.~6.30)</p>

[제출서류] 준기체역(간접직) 근무역 표준 근무제역서	[제출서류] 우기체역(간접직) 근무역 표준 근무제역서	[제출서류] 준기체역(간접직) 근무역 표준 근무제역서
<p>윤현진(2017.4.17.~11.17)</p>	<p>주은정(2017.4.6.~12.30)</p>	<p>신향미(2017.8.28.~12.30)</p>

<2018년도> 4명

[제출서류] 간접직 근무역 표준 근무제역서	[제출서류] 간접직 근무역 표준 근무제역서	[제출서류] 간접직 근무역 표준 근무제역서
<p>유병조(2018. 3. 5.~11.30)</p>	<p>박재청(2018.3.26.~10.31)</p>	<p>김선돌(2018.10.1.~12.30)</p>

12. 참고문헌

- Ganmore-Neumann, R., and U. Kafkafi. 1983. The effect of root temperature and $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ ratio on strawberry plants. I. Growth, flowering, and root development. *Agronomy Journal* 75:941-947.
- Hicklenton, P.R., and P.A. Jolliffe. 1978. Effects of green house CO_2 enrichment on the yield photosynthetic physiology of tomato plants. *Canada J. Plant Sci.* 58:801-817.
- Jeong, C.S., and Y.R. Yeoung. 1995. Effects of CO_2 enrichment on the net photosynthesis content of sugar and organic acid in tomato. *Korean J. Hortic. Sci. Technol.* 36(2):211-217 (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).
- 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, 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 narrow head golden ray '*Ligularia stenocephala*'. *Journal of Bio-Environmental Control* 20:116-122 (in Korean).
- Kumakura, H., and Y. Shishido. 1995. Effects of temperature and light conditions on flower initiation and fruit development in strawberry. *Japan Agricultural Researcher Quarterly* 29:241-250.
- Lieten, F. 1997. The effect of substrate temperature on strawberry performance on peat bags. *Acta Horticulturae* 450:501-504
- Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs(MAFRA), 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2016. Status of greenhouse of vegetable plant and production of vegetable. Government Complex-Sejong. 2010-2016:38-85 (in Korean)
- Nam, S.W., Y.S. Kim, and D.U. Seo. 2012. Change in the plant temperature of tomato by fogging and airflow in plastic greenhouse. *Journal of Bio-Environment Control* 23:11-18.
- 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).

- Rural Development Administration (RDA). 2012. Agriculture experiment investigation standard. Vegetable Part, Suwon, 503-602.
- Sonneveld C. 2002. Composition of nutrient solution. In D. Savvas and H. Passam, eds. Hydroponic Production of Vegetables and Ornamentals p. 179-210.
- Statistics Korea. 2016. 2015 Production of special crops. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA). Government Complex-Daejeon. (in Korean).
- Takaichi, I., K. Yamazaki, H. Kumakura, and H. Hamamoto. 2007. Effect of cooling of medium on fruit set in high-bench strawberry culture. HortScience 42(1):88-90.
- Utagawa, Y., T. Ito, and K. Gomi. 1989. Effects of root temperature on some physiological and ecological characteristics of strawberry plants 'Reiko' grown in nutrient solution. Journal of Japan Society Horticultural Science 58:627-633 (in Japanese text with English summary).
- Utagawa, Y., T. Ito and K. Gomi. 1991. Effects of root temperature on the absorption of water and mineral nutrients by strawberry plants 'Reiko' grown hydroponically. Journal of Japan Society Horticultural Science 59:711-717 (in Japanese text with English summary).
- Wagstaffe, A., and N.H. Battey. 2004. Analysis of shade and temperature effects on assimilate partitioning in the everbearing strawberry 'Everestas' the basis for optimized long-season fruit production. Journal of Horticultural Science and Biotechnology 79:917-922.
- Pyrotis, S., Abayomi, L., Rees, D. and Orchard, J. (2012). Effect of temperature and humidity on strawberry firmness at two different sites in the huelva region of Spain. Acta Hort. 926:567-570.

주 의

1. 이 보고서는 농림축산식품부에서 시행한 첨단생산기술개발사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 농림축산식품부에서 시행한 첨단생산기술개발사업의 연구 결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.