

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

1세대 스마트 플랜트팜 산업화기술개발사업 2021년도 최종보고서

발간등록번호

11-1543000-003698-01

인공광 이용 고효율 육묘생산시스템 표준모듈 개발 및 실증

2021.10.18

주관연구기관 / 경북대학교 산학협력단
협동연구기관 / 국립원예특작과학원
한국과기산업

농림축산식품부
(전문기관)농림식품기술기획평가원

제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

본 보고서를 “인공광 이용 고효율 육묘생산시스템 표준모듈 개발 및 실증”(개발기간 : 2020.07.03. ~ 2021.07.02.)과제의 최종보고서로 제출합니다.

2021.10.18.

주관연구기관명 : 경북대학교 산학협력단 (대표자) 김지현 (인)
협동연구기관명 : 국립원예특작과학원 (대표자) 이지원 (인)
협동연구기관명 : 한국과기산업 (대표자) 김성태 (인)



주관연구책임자 : 김성겸
협동연구책임자 : 안세웅
협동기관책임자 : 김성태

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

| 최종보고서 | | | | 보안등급 일반[○], 보안[] | | | |
|-------------------------|----------------|-----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|---------------------------|-------------------------|----|
| 중앙행정기관명 | 농림축산식품부 | | 사업명 | 사업명 | 1세대 스마트 플랜트팜 산업화기술개발사업 | | |
| 전문기관명 (해당 시 작성) | 농림식품기술기획평가원 | | | 내역사업명 (해당 시 작성) | | | |
| 공고번호 | 농축 2020-214호 | | 총괄연구개발 식별번호 (해당 시 작성) | | 320088-1 | | |
| | | | 연구개발과제번호 | | | | |
| 기술분류 | 국가과학기술 표준분류 | LB0203 | 95% | LB0805 | 5% | | |
| | 농림식품과학기술분류 | AA0203 | 95% | AA0204 | 5% | | |
| 총괄연구개발명 (해당 시 작성) | | 국문 | | | | | |
| | | 영문 | | | | | |
| 연구개발과제명 | | 국문 | 인공광 이용 고효율 육묘생산시스템 표준모듈 개발 및 실증 | | | | |
| | | 영문 | Development of standard module and on-farm trial of highly efficient transplant production system using artificial light | | | | |
| 주관연구개발기관 | | 기관명 | 경북대학교 산학협력단 | 사업자등록번호 | 504-82- | | |
| | | 주소 | 대구 북구 대학로 | 법인등록번호 | 176271000 | | |
| 연구책임자 | | 성명 | 김 경 | 직위 | 조교수 | | |
| | | 연락처 | 직장전화 053. | 휴대전화 | 010. | | |
| | | | @knu.ac.kr | 국가연구자번호 | 10189 | | |
| 연구개발기간 | | 전체 | 2020. 07.03. - 2021.07.02.(1년) | | | | |
| | | 단계 (해당 시 작성) | 1단계 | 2020. 07.03. - 2021.07.02.(1년) | | | |
| | | | n단계 | | | | |
| 연구개발비 (단위: 천원) | | 정부지원 연구개발비 | 기관부담 연구개발비 | 그 외 기관 등의 지원금 | | 연구개발비 외 지원금 | |
| | | 현금 | 현금 현물 | 지방자치단체 | 기타() | | 합계 |
| 총계 | | 500,000 | 166,667 | | | 500,000 166,667 666,667 | |
| 1단계 | 1년차 | 500,000 | 166,667 | | | 500,000 166,667 666,667 | |
| | n년차 | | | | | | |
| n단계 | 1년차 | | | | | | |
| | n년차 | | | | | | |
| 공동연구개발기관 등 (해당 시 작성) | | 기관명 | 책임자 | 직위 | 휴대전화 | 전자우편 | 비고 |
| 공동연구개발기관 | | 국립원예 특작과학원 | 안 웅 | 농업연구사 | 010- | @korea.kr | |
| | | 한국과기산업 | 김 태 | 대표 | 010- | @hanmail.net | |
| 위탁연구개발기관 | | | | | | | |
| 연구개발기관 외 기관 | | | | | | | |
| 연구개발담당자 실무담당자 | | 성명 | | | 직위 | | |
| | | 연락처 | 직장전화 | | | 휴대전화 | |
| | | | 전자우편 | | | 국가연구자번호 | |

이 최종보고서에 기재된 내용이 사실임을 확인하며, 만약 사실이 아닌 경우 관련 법령 및 규정에 따라 제재처분 등의 불이익도 감수하겠습니다.

2021년 10월 일

연구책임자: 김 성 경

주관연구개발기관의 장: 김지현

공동연구개발기관의 장: 이지원

공동연구개발기관의 장: 김성태



농림축산식품부장관·농림식품기술기획평가원장 귀하



< 요약 문 >

※ 요약문은 5쪽 이내로 작성합니다.

| | | | | | | |
|------------------------|------------------|--------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|----|--------------------------|
| 사업명 | | 1세대 스마트 플랜트팜 산업화기술개발사업 | | 총괄연구개발 식별번호 (해당 시 작성) | | |
| 내역사업명 (해당 시 작성) | | | | 연구개발과제번호 | | 320088-1 |
| 기술 분류 | 국가과학기술 표준분류 | LB0203 | 95% | LB0805 | 5% | |
| | 농림식품 과학기술분류 | AA0203 | 95% | AA0204 | 5% | |
| 총괄연구개발명 (해당 시 작성) | | - | | | | |
| 연구개발과제명 | | 인공광 이용 고효율 육묘생산시스템 표준모듈 개발 및 실증 | | | | |
| 전체 연구개발기간 | | 2020. 07.03. - 2021.07.02.(1년) | | | | |
| 총 연구개발비 | | 총 666,667 천원 (정부지원연구개발비:500,000 천원, 기관부담연구개발비:166,667 천원) | | | | |
| 연구개발단계 | | 기초[] 응용[] 개발[○] 기타[] | | 기술성숙도 (해당 시 기재) | | 착수시점 기준() 종료시점 목표() |
| 연구개발과제 유형 (해당 시 작성) | | - | | | | |
| 연구개발과제 특성 (해당 시 작성) | | - | | | | |
| 연구개발 목표 및 내용 | 최종 목표 | | 한국형 인공광 이용 식물공장형육묘시스템 표준모듈 및 생산관리 매뉴얼 개발과 현장 실증 연구를 통해 식물공장형육묘시스템의 성능과 경제성을 분석하는 것이다. | | | |
| | 전체 내용 | | 인공광 이용 접수/대목 생산 식물공장형육묘시스템 표준모듈 및 생산관리 매뉴얼을 현장 실증 연구를 통하여 도출한다. 인공광 식물공장형육묘시스템 표준모듈 개발 및 현장 실증으로 접수/대목 생산 맞춤형 공조시스템, 관수 시스템, 광 모듈, 복합환경제어, 다단 육묘 선반 모듈, 생산관리 프로그램 등을 개발하고 현장 실증 한다. 그리고 인공광 식물공장형육묘시스템 이용 과채류 접수/대목 생산 매뉴얼 개발 및 현장 실증을 통한 성능검증 및 과채류 접수/대목 생산 일수 고려 온도, 광 등 환경 및 관수 관리 등에 관한 매뉴얼을 완성하고 이를 현장에 적용하여 검토한다. 인공광 식물공장형육묘시스템 표준모듈 및 과채류 접수/대목 생산 매뉴얼 현장 실증 평가를 편의성, 공간 활용도 등 경제성 및 개선 사항 등을 분석한다. | | | |
| | 1단계 (해당 시 작성) | 목표 | <ul style="list-style-type: none"> ◦ 인공광 식물공장형육묘시스템 표준 모듈 및 생산관리 매뉴얼 개발 ◦ 인공광 식물공장형육묘시스템 성능 분석, 경제성 분석 및 현장 실증 | | | |
| | | 내용 | <ul style="list-style-type: none"> ◦ 식물공장형육묘시스템 이용 과채류 접수/대목 생산 성능 분석 ◦ 식물공장형육묘시스템 이용 과채류 접수/대목 생산 관리 매뉴얼 개발 및 현장 실증 ◦ 식물공장형육묘시스템 이용 과채류 접수/대목 생산 과정 분석 및 모델 설계 ◦ 식물공장형육묘시스템 이용 과채류 접수/대목 생산 경제성 평가 및 개선 사항 분석 ◦ 과채류 접수/대목 생산 식물공장형육묘시스템 및 생산관리 프로그램 개발 ◦ 과채류 접수/대목 생산 식물공장형육묘시스템 및 생산관리 프로그램 현장 실증 | | | |
| | n단계 (해당 시 작성) | 목표 | - | | | |
| 내용 | | - | | | | |

| | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|-----------------------|---------|----------|-----------|-----------|-----------|---------------------|-----|-----|----|
| 연구개발성과 | <ul style="list-style-type: none"> ◦ (정책제안, 1건) 식물공장형육묘시스템을 이용한 모종 생산을 준비하는 육묘 농가, 채소 접목묘 육묘장 생산관리자 및 대학생 등을 대상으로 식물공장형육묘시스템 이용 육묘 기술 교육 프로그램 운영을 제안함 ◦ (매뉴얼 개발, 2건) 식물공장형육묘시스템 운영관리 매뉴얼, 식물공장형육묘시스템 과채류 접수 및 대목 생산관리 매뉴얼 개발 ◦ (특허출원, 2건) 식물공장형육묘시스템 생육 스케줄링에 따른 일괄 제어방법, 스마트 육묘 생산 관수 관리 시스템 ◦ (논문게재, 1건) 인공광 이용 식물공장형육묘시스템의 환경 프로파일 및 오이 생장 평가 ◦ (학술발표, 3건) 인공광 이용 식물공장형육묘시스템의 환경 프로파일 및 오이 생장 평가, 식물공장형 육묘모들의 LEDs 배열에 따른 재배상의 수평적 광량 분포, 식물공장형육묘시스템에서 생산된 수박의 접수 및 대목의 생장 ◦ (홍보_2021 월간 농업기술) 사계절 안정 우량묘 생산, 인공광식물공장형육묘시스템 | | | | | | | | | | | |
| 연구개발성과 활용계획 및 기대 효과 | <ul style="list-style-type: none"> ◦ 이상기상 및 기후변화 대비 연중 안정적인 과채류 접수/대목 생산 체계 구축 ◦ 인공광 식물공장형육묘시스템 이용 접수/대목 생산을 통한 육묘 생산 효율 증대 - 접수/대목 생산 기간 10~30% 감소, 육묘장 공간 이용도 10~30% 증대 ◦ 인공광 식물공장형육묘시스템 이용 접수/대목 생산의 경제적·기술적 성과확산 | | | | | | | | | | | |
| 연구개발성과의 비공개여부 및 사유 | 해당사항 없음 | | | | | | | | | | | |
| 연구개발성과의 등록·기탁 건수 | 논문 | 특허 | 보고서 원문 | 연구시설·장비 | 기술 요약 정보 | 소프트웨어 | 표준 | 생명자원 | | 화합물 | 신품종 | |
| | 1 | 2 | 1 | | | | | 생명 정보 | 생물 자원 | | 정보 | 실물 |
| 연구시설·장비 종합정보시스템 등록 현황 | 구입 기관 | 연구시설·장비명 | 규격 (모델명) | 수량 | 구입 연월일 | 구입가격 (천원) | 구입처 (전화) | 비고 (설치장소) | ZEUS 등록번호 | | | |
| 국문핵심어 (5개 이내) | 식물공장 | | 환경조절 | | 접수 | | 대목 | | 접목묘 | | | |
| 영문핵심어 (5개 이내) | Plant factory | | Environmental control | | Scion | | Rootstock | | Grafted-transplants | | | |

< 목 차 >

| | |
|----------------------------------|-----|
| 1. 연구개발과제의 개요..... | 1 |
| 2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행내용..... | 9 |
| 3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도..... | 127 |
| 4. 연구개발성과 및 관련 분야에 대한 기여 정도..... | 136 |
| 5. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획..... | 136 |
| 6. 참고문헌..... | 137 |
| | |
| <별첨1> 자체평가의견서 | |
| <별첨2> 연구성과활용계획서 | |

1. 연구개발과제의 개요

1) 연구개발 개요

- 연구개발 개요 : 식물공장형육묘시스템 표준모듈 및 생산관리 매뉴얼 개발과 현장 실증 연구를 통해 식물공장형육묘시스템의 성능과 경제성 분석
- 핵심기술
 - 인공광 식물공장형육묘시스템 표준 모듈 개발 : 접수/대목 규격 생산을 위한 최적 육묘 선반 모듈 개발 및 제작
 - 과채류 접수/대목 생산 식물공장형육묘시스템 표준 모델 및 생산관리 확립 : 규격화된 고품질의 과채류 접목묘 생산을 통하여 공정 육묘 산업의 신성장 동력 엔진을 창출
 - 인공광 식물공장형육묘시스템 H/W 및 S/W 구성 모델 설계 : 효율성이 높고 접목 작목의 최적화된 시스템의 H/W 및 S/W 구성 모델 설계
 - 식물공장형육묘시스템 복합환경제어 시스템 개발 : 현장 맞춤형 공조시스템, 관수 시스템, 광 모듈 개발
 - 고품질 우량 안전 공정묘 생산 : 생장조절제와 농약의 사용을 줄여 지속 가능하며 친환경적 고품질 우량 안전 공정묘 생산 가능
- *과채류 품목 : 고추, 수박, 오이, 토마토
- 연구의 필요성
 - ‘육묘’란 종자의 파종에서부터 정식에 이르기까지 일정기간동안 정식 하기에 가장 적합한 묘를 키워내는 과정이며, 농작물 생산의 첫 단계로 정식 후 작물 생산의 성패를 좌우하는 중요한 과정임
 - ‘공정육묘’란 육묘의 생력화, 효율화, 안정화 및 연중 계획생산을 목적으로 최소의 노력으로 최적의 환경을 제공하여 최상의 모종을 최단 시간 내에 균일하게 생산하도록 육묘과정을 일괄 체계화 및 장치화하여 실행하는 것을 의미하며 이를 위한 기계, 시설 등을 이용한 자동화, 인력 절감 기술 등의 내용도 포함함
 - 육묘 이용의 장점으로는 종자의 발아율 상승, 종자 소요량도 감소, 시설 내 집약관리를 통한 입모율 향상, 작물 생육의 균일성 유지 및 수량성 증대에 기여 등이 있음
 - 육묘 이용의 장점 및 농업의 전문화, 분업화 추세에 따라 많은 시설원예농산물의 상당수 재배 농가가 육묘장의 묘를 사용하여 육묘장 면적은 큰 폭으로 증가하였으며, 육묘 시장은 2015년 기준 3,881억 원의 규모로 성장하였음(그림1)
 - * 국내 육묘시장 규모 : 1,870억 원(‘10) → 2,420(‘13) → **3,881(‘15)**
 - * 국내 육묘재배 면적: 20ha(‘97) → 110ha(‘09) → 195(‘14) → **334(‘18)**
 - * 국내 육묘업체 수: 50개(‘97) → 200개(‘09) → 292개(‘14) → **1020개(‘18)**
 - 2018년 기준 육묘업체의 작목군별 판매액은 채소 묘가 전체의 81.7%, 식량 작물 묘가 15.7%, 화훼 묘가 2.6%로 육묘 시장은 채소 묘를 중심으로 형성되어 있는 것을 알 수 있음(표1)

표1. 육묘업체의 육묘 관련 작목군별 판매액(KREI, 2018)

(단위:만 원, %)

| 구분 | 식량 | 채소 | 화훼 | 계 |
|-----|---------------------|----------------------|------------------|---------------------|
| 판매액 | 2,568,583 (15.7) | 13,338,115 (81.7) | 416,664 (2.6) | 16,323,362 (100) |

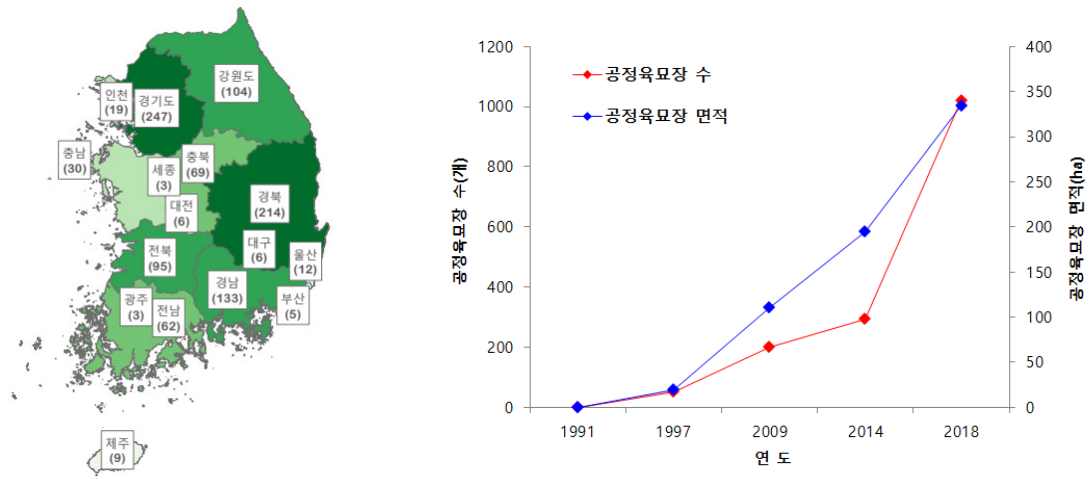


그림1. 시대별 전국 공정육묘장 면적 및 육묘업체수 변화(KREI, 2018)

- 과채류 육묘 구입 비중은 고추, 토마토에서 높게 나타나지만, 육묘업체의 과채류 접목묘 생산 비중은 육묘 일수가 길어 경제적으로 효율적이지 못한 고추, 토마토에서 낮게 나타남(표 2) → 식물공장형육묘시스템은 육묘기간을 단축 시킬 수 있어 고추, 토마토 접목묘 생산 비중을 늘릴 수 있을 것으로 기대함

표2. 과채류 육묘 구입 비중 및 육묘 업체 접목묘 생산 비중(KREI, 2018)

| 구분 | 고추 | 토마토 | 수박 | 오이 | 참외 | 호박 |
|-----------------|------|------|------|------|------|------|
| 육묘 구입(%) | 22.3 | 20.5 | 16.9 | 11.5 | 1.6 | 2.5 |
| 육묘 업체 접목묘 생산(%) | 21.8 | 57.8 | 95.4 | 74.7 | 36.1 | 41.0 |

- 국내 육묘업체의 보유 시설 및 자동화 정도를 조사해 보면, 자동파종기를 제외하고는 시설을 갖춘 육묘업체는 30% 미만 → 보유하고 있는 시설에 한해서는 사용률이 70% 이상이지만 공정 육묘 자동화가 미흡한 실정임(표3)
- 자동 접목기를 사용하는 육묘 업체는 전체의 1.8%에 불과하며, 실패율이 약 20%로 직접 접목하는 것에 비해 효율이 떨어지는 것으로 나타남
- 공정육묘장에서 접목 작업은 인력에 의존하고 있으며, 접목 작업에 소요되는 투하노동력은 접목묘의 생산을 위해 투하되는 총 노동력의 70~80%임 → 접목작업의 효율 및 인력 유지를 위해서는 연중 일정하게 균일한 묘 생산이 가능해야 함

표3. 육묘업체의 보유 시설 및 자동화 정도(KREI, 2018)

| 구분 | 자동파종기 | 환경제어시스템 | LED 접목 활착실 | 폐쇄형 육묘시스템 | 원통형 종이 포트 제조기 | 자동접목기 (로봇) |
|----------|-----------|-----------|------------|-----------|---------------|------------|
| 보유 여부(%) | 595(58.3) | 295(28.9) | 58(5.7) | 51(5.0) | 35(3.4) | 18(1.8) |
| 사용 여부(%) | 576(97.8) | 284(96.3) | 58(100) | 48(94.1) | 34(97.1) | 14(77.8) |

표4. 관행 개별육묘와 공정육묘 비교(국립원예특작과학원)

| 구분 | 관행육묘 | 공정육묘 |
|----------|-------------------|--------------------|
| 육묘시기 | 동, 하절기 육묘 곤란 | 주년 안정 육묘 가능 |
| 묘소길 | 불균일, 불량묘 비율 높음 | 양질, 규격묘 |
| 발아율 | 80-95% | 95%이상 |
| 육묘용기 | 크다, 단순 | 작다, 다양 |
| 육묘상토 | 토양 및 경량혼합상토 | 경량혼합상토 |
| 상토량 | 300mL/주 내외 | 20-150mL/주, 다양 |
| 상토 조건 | 폭이 넓음(공극률 50% 이상) | 엄격(공극률 80% 이상) |
| 상토 내 비료량 | 많다 | 적다 |
| 추비의 필요성 | 적다(요소 또는 4종 복비) | 불가피(완전액비, 미량원소 포함) |
| 근밀도 | 낮다 | 높다 |
| 육묘환경 | 불량(저온, 다습, 약광) | 최적환경 조성 가능 |
| 생육조절 | 조절 불가능 | 조절용이 |
| 묘소길 | 불균일 | 균일 |
| 육묘작업 | 인력 | 기계화, 자동화 |
| 묘 생산성 | 1,000주/평(6cm 포트) | 3,000-9,000주/평 |
| 묘 운송성 | 곤란 | 용이(장거리 수송 가능) |
| 정식작업 | 인력 | 기계화 가능 |
| 활착 | 지연 | 용이 |

- 자동 접목 시스템은 성공적인 접목 성공률을 달성하기 위해 특정 수준의 모종 균일성이 필요함(Tian et al., 2017; Ashraf et al. 2011)
- 성공적인 접목을 위해 대목과 접수 사이의 도관 조직의 연결되어야 하며(Kümpers and Bishopp, 2015; Melnyk, 2017) 이를 위해서는 대목과 접수의 형성층이 서로 정렬되어야 하며, 두 줄기 사이의 직경이 일치해야 함
- 접목에 사용되는 대목과 접수는 품질 매개 변수(예: 배축/epicotyl 길이, 잎 크기 등)도 접목 시스템과 호환되도록 특정 표준이 필요하며, 특정 규격의 접수 및 대목을 연중 균일하게 생산하기 위해서는 식물공장형육묘시스템과의 연계가 필수적임
- 모종의 생장 및 발육 조절은 단기간에 이루어지며, 특히 온도 및 광 조절로 묘의 형태형성이 이루어지므로 육묘 공정의 표준화를 위해서는 지상부 환경(온도 및 광)에 따른 채소 모종의 생육 모델 및 환경관리 프로그램 개발이 필요함
- 공정육묘의 경우 플러그트레이에 의해 근권이 제한되어 정밀 양·수분 관리가 필요하지만, 지금까지 모종의 생산 및 생육조절을 위한 양분 관리는 기본 매뉴얼 없이 경험에 의존하여 시행되었으며, 이는 모종의 품질 저하로 이어질 수 있음 → 근권 환경(양, 수분 함량)에 따른 채소 모종의 생육 모델 및 환경관리 프로그램 개발이 필요함
- 시설채소(토마토, 오이 등) 재배를 위한 육묘시기 8~9월은 40℃ 내외의 고온 조건이어서 모종이 도장(웃자람)하며, 연약하여 병해충 피해에 취약 → 과채류 접목묘의 우량묘 생산에 불리한 조건을 극복하기 위하여 적극적인 재배 환경 조절 방안이 필요
- ‘접목로봇 연계 과채류 규격묘 생산 식물공장형육묘시스템 개발’과제를 통하여 하드웨어 및 접수/대목생산 환경조건 구명 기초연구를 수행하였고(’18-20, 농촌진흥청), 식물공장

형육묘시스템을 선진 공정육묘장에 조기 보급하기 위해 육묘장 현장에서 장비 성능평가와 매뉴얼 개발이 시급함

- 공정육묘산업은 육묘와 재배의 분업화, 전문화를 유도할 수 있는 원천 산업이며 발아, 접목, 활착, 성장조절, 병해충 관리 등 재배 관련 모든 기술이 집대성되는 종합적 정밀산업으로 도입 초기에는 전문 육묘 시설, 기계 장치, 상토, 재배 방법과 생리, 병해, 영양관리 등에 관한 연구들은 수행되었으나, 농작업의 편의성과 생력화에 관한 연구는 미흡함
- 최근 10년간 평균 기온은 13.0℃ 증가, 폭염 일수는 평균 15.5일로 2000년대 평균 10일보다 150%만큼 증가하였으며, 한파 일수는 최근 10년간 평균 5.3일로 2000년대 4.6일보다 15% 증가하였음 기후변화로 점점 양질 우량묘(접수, 대목)의 생산에 어려움을 겪고 있으며, 육묘의 수요가 늘어남에 따라 이의 기반기술 해결이 시급하게 요구됨(그림2)

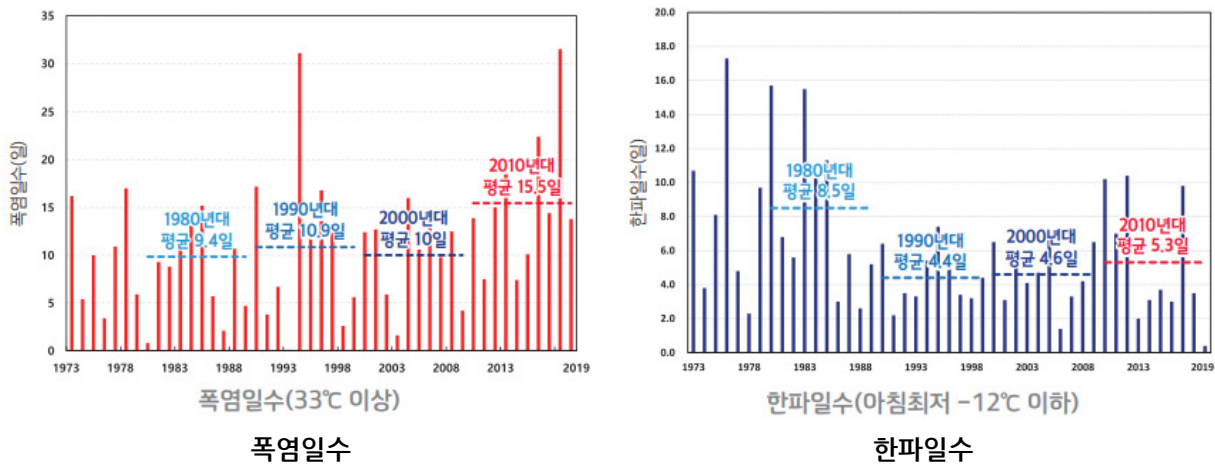
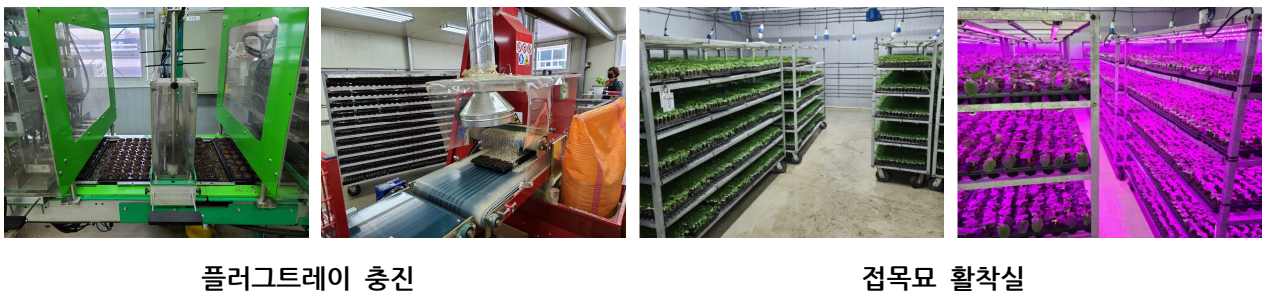


그림2. 2019년 이상기후 보고서(기상청, 2019)

- 이상기상 발생으로 접목활착 및 모종 출하시기 예측이 어려워 선진 육묘장을 중심으로 정밀 환경관리가 가능한 시설(폐쇄형 육묘 시스템, LED 활착실, 지열히트펌프 등)의 도입이 지속적으로 이루어지고 있으나, 활착 이후 여름철 및 겨울철 불량환경에서 모종의 품질 향상을 위한 환경조절에 대한 정보는 아직 부족한 실정 → 환경조절 기술 개발이 필요함
- 이상기상 및 기후변화 등으로 인해 우량묘 생산이 점차적으로 어려워지고 있으며, 광, 온도, 관수 등 인공적으로 제어가 가능한 식물공장형육묘시스템의 개발 및 현장 적용으로 연중 안정적인 육묘체계 구축이 필요



플러그트레이 충전

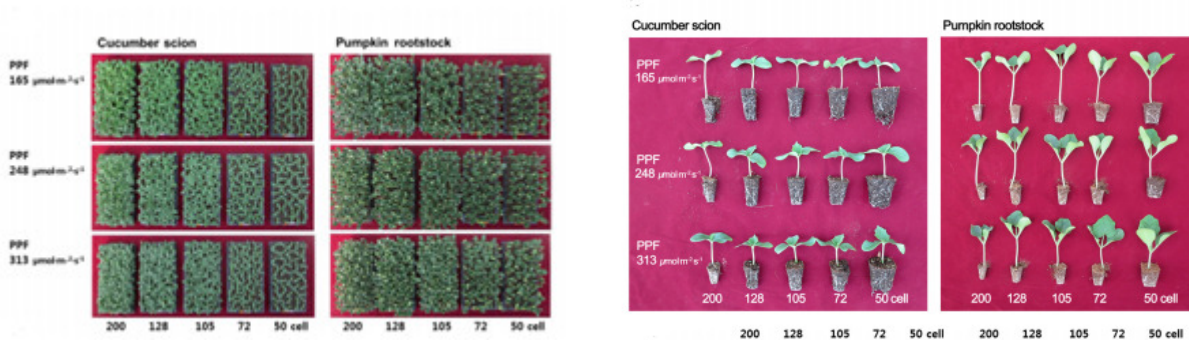
접목묘 활착실

그림3. 공정육묘장 운영 사례(춘천 호*육묘장)

2) 연구개발 대상의 국내·외 현황

○ 국내 기술 수준 및 시장 현황

- 친환경 고 부가가치 채소 묘의 안정 생산을 위한 폐쇄형 육묘시스템의 개발(서울대, 2007) 및 활착기간 동안의 환경조절에 따른 활착, 광합성, 생존율 구명(김 등 2005, 문 등 2011)
- 최근 이상기상 발생으로 접목활착 및 모종 출하시기 예측이 어려워 선진 육묘장을 중심으로 인공광(LED, 형광등 활용) 접목 활착 시스템이 보급(2010년 이후)
- 2000년 초반부터 식물공장 육묘시스템 개발 및 고품질 공정묘 생산 관련 연구가 활발하게 수행되었음(전 등, 2007, 농업특정연구과제, 폐쇄형 육묘시스템 개발)
- 인공광 폐쇄형 육묘시스템 내에서의 광량 및 플러그트레이 규격에 따른 오이 접수 및 호박 대목의 생육을 조사하여, 균일한 고품질의 접수 및 대목 생산기술을 개발함(장 등, 2014)



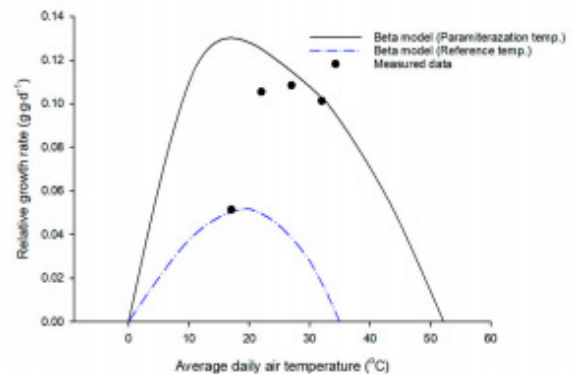
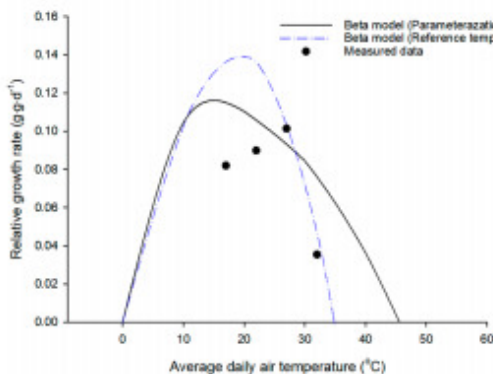
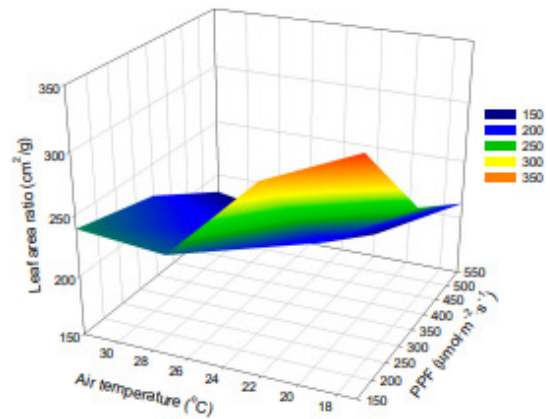
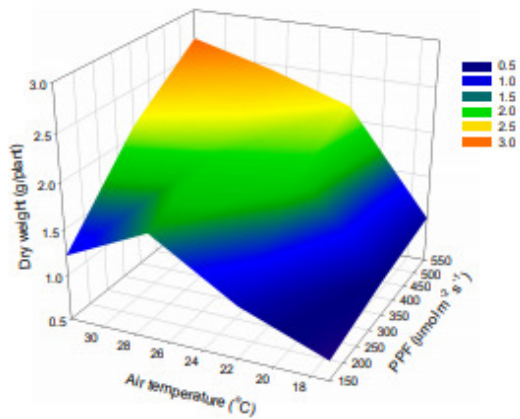
균일한 고품질의 접수 및 대목 생산기술 개발(장 등, 2014)

- 최근 스마트팜 개발과 관련하여 주요 농작물의 정식 후 생육 모델 개발 및 환경관리 연구는 활발히 이루어지고 있으나, 육묘 생산 관리를 위한 모종 생육 모델 연구는 일부 수행됨(김 등, 2017-2018, 농촌진흥청 공동연구과제 PJ01277401)
- 접목묘 활착실 내의 인공광원으로 사용되는 LED 모듈의 광질 미 점멸주기가 오이 접목묘의 활착 및 성장 특성에 미치는 영향을 구명함(김 등, 2019)
- 육묘 모델을 적용한 생산경영관리 프로그램은 육묘장 시설의 정밀 환경 관리와 경영 효율화를 통하여 고품질의 우량묘를 경쟁력 있게 생산 가능, 국내 공정육묘 기술은 세계 최고 수준이며, 식물공장 육묘시스템 개발 기술 또한 일본과 더불어 높은 수준에 있음
- 국내 공정육묘장에서 활용 가능한 식물공장 육묘시스템 보급하고, 이상 기후(장마, 여름철 고온, 겨울철 저온 등)에 대비하여 고품질 공정묘 생산 가능하여 시장 확대 기대



그림4. 과채류 접수/대목 규격묘 생산을 위한 식물공장형육묘시스템 활용

- 오이와 토마토 접수 및 대목의 증발산량 추정을 통해 식물공장형육묘시스템의 정밀 관수 제어를 위한 관수 시기 및 관수량 결정을 위한 지표 구명(박 등, 2020)
- 식물공장 내에서 원적외선이 풍부한 보조광원의 강도에 따른 채소 유묘의 생육 조절 가능성 확인 → 작물 및 광원 강도에 따라 다른 결과값을 가질 수 있음을 주의해야 함(황 등, 2020)
- 고품질 수박 접수 및 대목의 효율적인 생산을 위한 식물공장형육묘시스템 내 적정 기온 및 광 환경 구명(곽과 안, 2021)
- 연중 균일한 우량 접목묘 생산을 위한 인공광 이용 식물공장형육묘시스템의 환경 조건 구명(안 등, 2021)
- 온도 및 광도에 따른 고추 접목묘 생육 모델을 개발함 → 온실에서 고추 접목묘 생산시 요구되는 적정환경 조건을 구명(곽 등, 2021)



온도 및 광도에 따른 고추 접목묘 생육 모델 개발(곽 등, 2021)

○ 국외 기술 수준 및 시장 현황

- 일본에서는 1990년대 식물공장형육묘시스템이 Kozai 등에 의하여 개발되어 양산되었으며 Bergearth사는 식물공장형육묘시스템에서 생산된 접수 및 대목을 접목하여 “e-묘” 시리즈로 판매하고 있음
- 아시아 권역의 식물공장 기술개발 및 사업 추진은 일본이 선도적으로 수행해왔으며, 2009년부터는 일본 정부의 지원하에 약 50개소의 상업적 식물공장이 운영되고 있음
- 일본의 인공광 식물공장 비중이 유럽에 비해 높으며, 전력, 식품, 유통회사 등 기업에서 여러 형태의 식물공장을 운영 중임(Akiyama et al., 2016)
- 2009년 범정부 차원의 ‘식물공장 보급 확대 종합대책’ 수립을 계기로 2012년 기준 120여 곳으로 확대 보급되고 있으며, 2011년 후쿠시마 원전 사고 이후 대규모 식물공장에 대한 필요성이 크게 부각 되어 원전 사고에 의한 오염지역에 식물공장을 건설·운영하는 것을 지역

의 부흥 수단으로 인식하고 있음(박 등, 2016)

- 식물공장형육묘시스템은 일본에서 개발되었으나, 최근에는 국내에서 개발된 식물공장형육묘시스템(혹은 식물공장)의 가격 및 성능이 우수하여 역수출되고 있음



치바대학교 폐쇄형 육묘 공장 및 생산 운영 프로그램



폐쇄형육묘시스템 생산

- 시설원에 선진국인 네덜란드의 식물공장 재배 면적은 1975년에 이미 4,700ha로, 생산량의 증가는 물론, 대규모화, 공장의 고도화 등이 이미 달성되어 체계적 시스템에서 생산이 이루어지고 있음(김 등, 2019)
- 네덜란드는 1990년 이전까지는 생산성을 중심으로 발전해왔으나, 이후 에너지와 노동력 투입을 줄이는 지속가능성에 초점을 두고 기술개발이 이루어지고 있음
- 네덜란드는 완전제어형 친환경 식물공장 상용화 분야와 친환경 동물 복지형 축사분야 기술을 선도하고 있음(장 등, 2019)



그림5. 프리바 식물공장 사례

- 미국에서 식물공장 관련 시장이 확대되고 있으며, 다양한 시스템이 개발되어 엽채류 재배 및 판매가 이루어지고 있음

- 2000년대 미국 화이트팜사에서 심야 전력을 이용한 허브류 생산에 식물공장생산시스템을 활용하였고, 2013년 미국 시카고 소재 팜드히어사에서 식물공장에서 바질 등의 허브류를 생산하여 인근 지역에 공급하는 사업을 수행함(Zaharia et al., 2019)
- 인공광원 설비에 관해서는 LED 램프를 각 층에 설치하는 다층 생산시스템을 활용하는 경우가 많으며 층간 거리는 일본 및 기타 아시아 국가에서 흔히 볼 수 있는 것과 비교하여 상대적으로 높음



그림6. 그린센스팜 식물공장 사례

- 지금까지 대부분의 식물공장이 엽채류 위주의 생산에 초점을 맞춤 → 미국 텍사스에 소재한 칼리버바이오테라퓨틱스사의 경우 13,935m² 규모의 대규모 식물공장 설비에서 약 220만 개체의 유전자변형 담배를 재배하여 의료용 재조합 단백질 생산에 이용하는 사업을 진행 중임(Sabeh et al., 2019)
- 일본, 북미, 유럽에서는 20년 전부터 식물공장형육묘시스템의 최적화하여 실용화되어 있으며, 일본의 공정 육묘장에서 약 30% 정도가 주로 접수, 대목 생산을 위해 사용

표5. 국내외 식물공장 특징 비교(김 등, 2013, 식물공장의 전망과 정책 과제)

| 구분 | 국내 | 국외 | |
|------|----------------------|----------------------|----------------------|
| | | 유럽 | 일본 |
| 구조재료 | 보통 유리 | 표준화 | 자외선, 열 차단 피복재 |
| 인공광원 | 고효율 형광등 LED 초기 단계 | 고압나트륨램프, 메탈할라이드램프 | 고효율 형광등 LED 광원 개발 |
| 조사방법 | 전면 조사 | 근접, 간헐 조명 | 근접, 간헐 조명 |
| 냉난방 | 히트펌프 실용화 | 온수난방, 증발 냉각 | 히트 펌프 |
| 양액관리 | EC, pH 제어 | 미량성분 요소 제거 | 미량성분 요소 제어 |
| 환경관리 | 개별 제어 | 복합제어 | 원격 계층 제어 |
| 이식작업 | 인력 | 반자동 | 로봇 |
| 스페이싱 | 반자동화 | 자동화 | 자동화, 로봇 |
| 수확작업 | 인력 | 인력 | 자동화 |
| 생장제어 | 생산모델 개발 초기 | 생육 단계별 최적 제어 | 생육 단계별 최적 제어 |

2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행 내용

<제1세부(경북대) 인공광 식물공장육묘시스템 이용 접수/대목 생산 매뉴얼 개발 및 현장 실증>

1) 식물공장형육묘시스템 적용

(1) 식물공장형육묘시스템

[식물공장형육묘시스템]

- 양액재배 기술을 중심으로 컴퓨터에 의한 환경제어기술, 자동화 기술, 에너지 공급 기술 등을 구성하여 “고도의 환경제어에 의한 식물의 계획적 또는 주년 생산으로 품질을 일정하게 재배할 수 있는 공장형 생산시스템”
- 이용 광원 종류에 따라 완전제어형, 태양광병용형, 태양광이용형 총 3가지 유형으로 분류
- 완전제어형 모델은 외부기상조건을 완전히 차단하여 고도의 환경관리가 가능하며, 광합성에 필요한 에너지는 인공광원으로 공급 가능

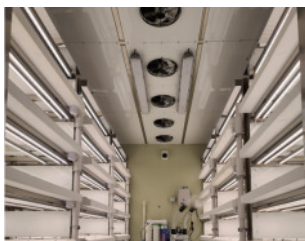
- 현장실증을 위한 식물공장형육묘시스템은 항온항습이 가능하며, 태양광 유사 인공광원을 이용한 일장 및 광량 제어가 가능하도록 설계함(표6)
- 식물공장형육묘시스템 구조는 내부, 외부, 양액실, 제어실로 이루어져있음(그림7)

표6. 식물공장형육묘시스템 현장실증 적용 모델

| 시스템 유형 | 주요 기능 | 구성 |
|--------|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 완전제어형 | 항온항습 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 인공환경실 내부 온습도 제어 (설정온도±0.2, 설정 상대습도±5% 이내 제어 가능) ○ 신선외기도입장치 : 밀폐된 공간에 청정공기 공급 (Medium filter of Hepa filter 적용) ○ 기류 방식: Uniform Upward Air Flow ○ 제어 풍속: 0.5m/s 이하 ○ 냉각 장치: Hermetically sealed air cooled condensing unit ○ 제어 방식: 복합환경제어컨트롤러(Programmable logic controller) |
| | 광 제어 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 태양광 유사 인공광원을 이용한 일장 및 광량 제어 ○ 광원 모델: Future green-28W |

* 온도 제어 가능범위 : 15-40℃(Lamp on)/10-40℃(Lamp off), 오차범위 ± 0.2℃

* 습도 제어 가능범위 : 40-70%(Lamp on)/45-90%(Lamp off), 오차범위 ± 5%



육묘시스템(내부)



육묘시스템(외부)



양액실



제어실

그림7. ‘호*영농조합법인’ 식물공장형육묘시스템

(2) 국내·외 LEDs 광원 조사

- 식물공장형육묘시스템에 설치할 LEDs 광원을 설치하기 위해 광합성 유효 파장대 영역에서 효율이 높은 태양광 유사 인공광원을 국내·외 업체별 LEDs 광원을 조사하였음
 - 광합성은 광량, 광질 및 일장의 영향을 받으며, 광은 여러 가지 광선이 혼합되어 있어 어떤 파장의 광선이 얼마나 포함되어 있느냐에 따라 광질이 달라짐
 - 태양광은 크게 자외선, 적외선 및 가시광선 영역으로 구분할 수 있으며, 이들 파장대별로 식물의 생육 반응은 다르게 나타남 → 가시광선 영역(380-780nm)이 작물의 생육에 가장 큰 영향을 끼치고, 그 중에서도 400-700nm 사이의 파장을 광합성유효복사(Photosynthetic activation radiation: PAR)라고 하며, 해당 영역의 파장대의 광량을 광합성유효광량자속밀도(Photosynthetic photon flux: PPF)라고 함(표7)
 - 광합성은 특히 광합성유효복사 내 특정 파장대에서 활발하게 일어남
 - * chlorophyll a: 440 및 660nm에서 광합성 가장 활발함
 - * chlorophyll b: 460 및 620nm에서 광합성 가장 활발함

표7. 광 파장별 식물 반응의 특징

| 분류 | 파장(nm) | 특징 |
|---------------------|----------|------------|
| 자외선(Ultraviolet) | 100-380 | |
| UV-C | 100-280 | 살균 |
| UV-B | 280-320 | 일광 화상 |
| UV-A | 320-380 | |
| 가시광선(Visible) | 380-780 | 광합성 및 형태형성 |
| 원적외선(Far red) | 700-800 | 형태형성 |
| 근적외선(Near-infrared) | 780-2500 | 열 |
| 적외선(infrared) | 2500+ | 열 |

- 그림 8은 국내외 식물공장용 LEDs 광원의 파장(Fang et al., 2014)을 조사한 것으로 재배작물에 따라 생육시기별 선호하는 파장대를 형성해주어 생육을 촉진시킬 수 있음
 - 생육 초기 왕성한 영양 성장을 위해 광합성유효복사 내 모든 파장을 가지는 full spectrum의 white LEDs 광원을 선정해 조사하였음

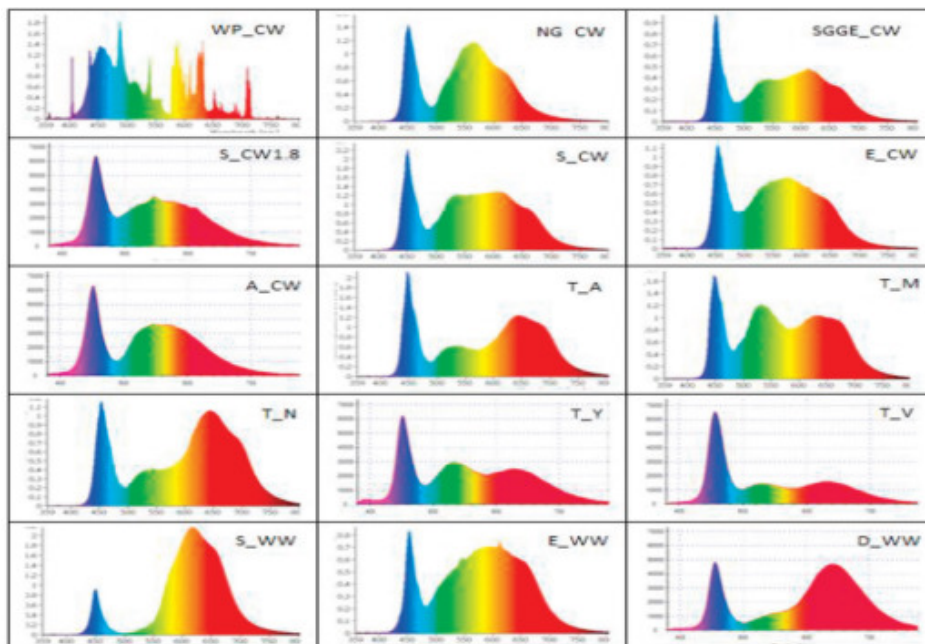


그림8. 식물공장용 광원별 파장(Fang et al., 2014)

○ 조사한 국내외 식물공장용 LEDs 광원 판매 업체는 국내 8개, 국외 7개로 총 15개임(표8)

표8 . 국내·외 식물공장용 LEDs 광원 판매 업체

| 업체명 (국가) | 모델명 | 소비전력 (W) | 조사각 (°) | 설계수명 (hr) | 특징 |
|------------------------|------------------------------------|-------------|------------|------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Future green (한국) | Future green -28W | 28 | 120 | 60,000 | <ul style="list-style-type: none"> ○AC-IC칩 적용으로 전원, 등기구 불필요 ○안정기 없이 바로 콘센트 연결 가능 ○연색성이 95정도로 태양광과 유사 ○LED Chip: Blue chip+R/G/Y 형광체로 하나의 칩에 내장 |
| 빛솔 (한국) | HI18-G2 | 18 | 120 | 25,000 | <ul style="list-style-type: none"> ○Far red Wp730nm 파장이 포함 ○LED Chip: Neutral White, RED, Far-Red |
| 지에너텍 (한국) | 식물공장 LED | 30 | 120 | 25,000 | <ul style="list-style-type: none"> ○청색(450nm), 적색(660nm), 백색(10000켈빈)이 모두 포함 ○LED Chip: R:B:W(3:1:1 비율) |
| 성광 엘이디 (한국) | GBT1200 | 29.5 | 120 | 50,000 | <ul style="list-style-type: none"> ○SMPS(컨버터)를 등기구 내부에 설치 ○직/병렬 연속연결 가능 ○LED Chip: Red, Blue |
| 에이온 라이팅 | SPLT20 | 20 | 120 | 25,000 | <ul style="list-style-type: none"> ○450nm와 Far-Red를 추가하여 플스펙트럼을 구현 ○연보라색의 색상구현 및 정전류를 이용한 디밍 기능 옵션 설치 가능 ○LED Chip: White, Red, Far-Red |
| 에이팩 (한국) | HP-H22P | 22 | 110 | 50,000 | <ul style="list-style-type: none"> ○고연색성의 부드러운 빛으로 눈의 피로도 감소 ○고압나트륨 램프 대비 50% 이상 에너지 절감 |
| 지엘비텍 (한국) | T8 Tube -635nm | 24 | 120 | 40,000 | <ul style="list-style-type: none"> ○광 효율:100lm/W(Typical) ○고연색성 White color 구현으로 작업자의 피로도 감소 ○Yellow(580nm) 파장 확보 ○식물에 근접 설치가 가능한 낮은 발열 ○LED Chip: White, Red, Blue |
| 에스테크 LED (한국) | 310형 식물재배 혼합형 LED | 28.8 | 120 | 50,000 | <ul style="list-style-type: none"> ○SMD5050 3칩이 LED바에 내장 ○생활방수 가능 ○독자적 FAWOO 식물공장시스템 개발 ○LED Chip: R:B:W(3:1:1 비율) |
| 그린맥스 (한국) | 식물성장 LED바 (삼성칩) | 7.2 | 50 | 아답터 종류에 따라 다름 | <ul style="list-style-type: none"> ○White 기반 풀 스펙트럼으로 균형잡힌 식물 성장 촉진 ○3개까지 직렬 연결 가능 ○LED Chip: White, Green을 포함한 풀 스펙트럼 |
| a-lite (중국) | White Grow Light | 25 | 120 | 50,000 | <ul style="list-style-type: none"> ○수경 재배 및 에어로포닉스에 가능 ○맞춤형 스펙트럼 비율 제공 및 제작 가능 ○낮은 열발생 |
| Philips (미국) | Green Power LED | 175 | 120 | 36,000 | <ul style="list-style-type: none"> ○HPS 조명에 비해 낮은 유지 보수 비용 ○HPS 조명에 비해 적은 열방출 빛 높은 광출력 값 ○맞춤형 스펙트럼 비율 설정 및 제작 가능 |
| VANQ | GLX120 120W LED | 120 | 120 | 50,000 | <ul style="list-style-type: none"> ○균일한 배광 및 우수한 열전도율 ○다양한 실내 재배 적용을 위한 다목적 모듈형 디자인 |
| GE current | NewArize Life LED (93031538) | 16.3 | 120 | 36,000 | <ul style="list-style-type: none"> ○조직배양 및 챔버용 라이트 바 ○열 발생이 적으며, 식물체 가까이에 광이 잘 전달 ○작동 환경: 0-40도 |
| Valoya | BX120 | 132 | 120 | 50,000 | <ul style="list-style-type: none"> ○얇고 가벼우며 습기와 충격에 강함 ○열이 식물 반대방향으로 방출 ○광량이 일정하게 방출 |
| Total grow light | TG6B | 60 | 120 | 50,000 | <ul style="list-style-type: none"> ○공간차지가 적은 매우 얇은 프로파일 ○다 기능성을 위한 풀 스펙트럼 및 모듈식 설계 |

- 조사업체 선정시 소비전력 및 유지보수 편의성을 위한 설계수명을 고려함 → 광합성유효 복사 영역을 모두 가지면서 태양광과 유사한 파장 비율(적색광/근적색광)을 가지는 white LEDs를 생산하는 업체 2곳을 선정하였음(F사: 퓨처**, B사: 빛*)
- 해외 업체의 경우 재고 파악, 배송 기간 및 사후 조치 등에 많은 제약이 따르므로 LEDs 종류에 따른 특징들을 조사하여 국내 제품과 성능 비교만 실시하였음
- LEDs 종류에 관계없이 tube type으로 모두 full spectrum을 가지고 있었으며, 제조사에 따라 원하는 광질을 가지는 LEDs를 제작할 수 있었음
- LEDs 특성상 UV는 대부분 $1\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 미만으로 미미하였고, 광합성유효광량자속밀도는 90% 내외를 차지하였음
- 대부분의 LEDs들이 태양광보다 UV가 현저하게 작았으나, 전체 광량 대비 광합성유효복사 영역대 비율이 태양광보다 약 10% 내외로 높게 나타남
- 태양광의 경우 적색광/근적색광의 비율이 약 1.6(표9)으로 낮은 반면에 대부분의 LEDs들은 광합성유효복사 영역대 비율이 높은 대신 적색광/근적색광의 비율이 높게 나타남

표9. 광량에 따른 태양광 광질 비율(An et al., 2021)

| Light sources | UV (380-400nm) | PPFD (400-700nm) | Blue (400-500nm) | Green (400-600 nm) | Red (620-700nm) | Far-red (700-750nm) | R/Fr | Total (380-780nm) |
|---------------|----------------|------------------|------------------|--------------------|-----------------|---------------------|------|-------------------|
| 태양광 | 11.8 | 597.8 | 460.9 | 216.5 | 179.8 | 111.0 | 1.6 | 779.0 |

* 380-750 nm 범위의 스펙트럼 기준의 비율을 나타내고 있음

(3) 선정 업체 LEDs 광원 성능 평가

- LEDs 광원 성능 평가를 통해 최종 LEDs 광원을 선정하였음
 - LEDs 광 이용효율, 광 균일도, 광 파장을 측정하여 성능 평가를 실시함
 - 광원으로부터 300mm 거리에 1500×800mm(가로×세로) 규격 베드를 설치하여 광질을 측정하였으며, 광이용효율 비교를 위해 설치된 베드 45지점에서 광량을 함께 측정하였음 (표10) → 측정 광량값으로 구한 평균 광량 및 표준편차를 이용해 광원의 수평적 균일도를 분석함
- * 광 이용효율은 개수별 광량이 더 큰 LEDs가 높은 광 이용효율을 가지는 것으로 정의함

표10. LEDs 광원 성능평가를 위한 조사 환경 및 측정지점

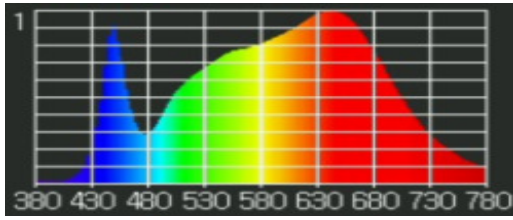
| 광원 종류 | 광원 개수(개) | 베드 규격(mm) | 광원-센서 거리(mm) | 측정 지점 | 비 고 |
|--------|----------|-----------|--------------|------------------|--------------|
| F사, B사 | 3, 5, 10 | 1500×800 | 300 | 150×150mm (45지점) | 모듈의 4면 모두 개방 |

* 광량 및 광질 측정 센서: LI-190R+LI-250(400-700nm), LI-180(380-780nm)

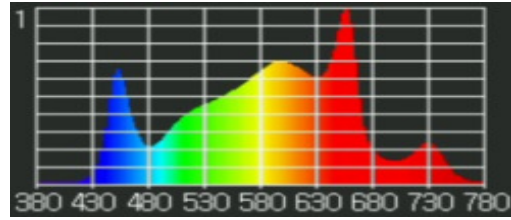
- 그림 9는 LEDs 광원 스펙트럼을 나타낸 것이며, F사는 B사에 비해 광합성 유효 파장대 해당 광량이 전체적으로 높은 것으로 나타남
- 태양광의 R:FR 비율(3.0)과 유사한 LEDs 광원은 F사(표11)로 나타남 → F사의 LEDs 광원이 공정육묘시 높은 성능을 나타낼 것으로 기대됨

표11 . LEDs 광 파장 스펙트럼 분석 결과

| 회사 | Blue light (400-500nm) | Green light (500-600nm) | Red light (600-700nm) | F-Red light (700-780nm) | R:FR |
|----|---------------------------|----------------------------|--------------------------|----------------------------|------|
| F사 | 13% | 31% | 44% | 12% | 3.8 |
| B사 | 14% | 35% | 42% | 9% | 4.9 |



F사 스펙트럼



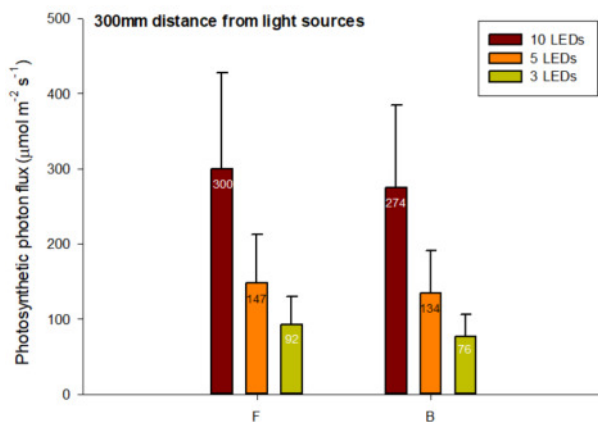
B사 스펙트럼

그림9. 선정된 업체의 LEDs 광원 스펙트럼

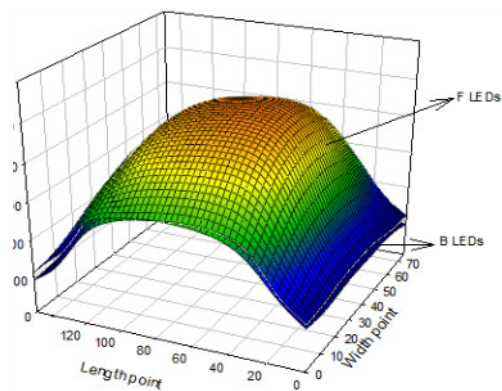
- F사 LEDs 광원의 평균 광량이 B사 LEDs 광원의 평균 광량보다 높아 광이용효율 측면에서 F사 LEDs 광원이 높은 성능을 나타낼 것으로 기대됨(표12)
 - LEDs 3개 : F사 평균 광량이 B사 평균 광량보다 약 21% 높게 나타남
 - LEDs 5개 : F사 평균 광량이 B사 평균 광량보다 약 10% 높게 나타남
 - LEDs 10개 : F사 평균 광량이 B사 평균 광량보다 약 9% 높게 나타남
 - LEDs 광원 측정 광량의 표준편차는 F사가 다소 높았으나 광량의 수평적 균일도에서는 무시할 정도의 수치로 판단함

표12 . F사 및 B사 LEDs 개수별 광량 프로파일링 결과

| 회사 | LEDs 개수(개) | 광량(평균±표준편차, $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) |
|----|------------|-------------------------------------------------------------------|
| F사 | 3 | 93±37.1 |
| | 5 | 148±64.2 |
| | 10 | 300±127.8 |
| B사 | 3 | 77±29.6 |
| | 5 | 134±56.0 |
| | 10 | 274±110.0 |



LEDs 개수별 F사와 B사의 PPF 값



F사 및 B사 LEDs의 수평 프로파일(LEDs 10개 기준)

그림10. F사 및 B사 LEDs 광원 개수별 광량 비교

- 태양광 스펙트럼 및 R:FR 비율이 가장 유사하고, 광이용효율이 높은 퓨처그린의 Future green-28W (LEDs tube)를 선정함

(4) 식물공장형육묘시스템 모듈 내 LEDs 광원 개수 선정

- 식물공장형육묘시스템 모듈 내 LEDs 광원은 과채류 접수 및 대목에 생장에 필요한 적정 광량 $250\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 내외 성능을 가지고, 재배 베드 위 수평적 광 분포가 균일 해야함
- 광원 개수는 4개 및 5개로 설정하였으며, 수평적 광 균일도를 평가하기 위해 광원으로부터 300mm 거리에 $1200\times 600\text{mm}$ (가로×세로) 규격 베드를 설치하여, 총 45지점의 광량을 측정하였음(표13)
- 광원의 간격은 베드 규격 세로 600mm 내 같은 간격을 가지도록 배치하였음
- * LEDs 광원 4개 간격 150mm 및 5개 간격 120mm

표13 . 모듈 내 LEDs 광원 개수 결정을 위한 조사 환경 및 측정지점

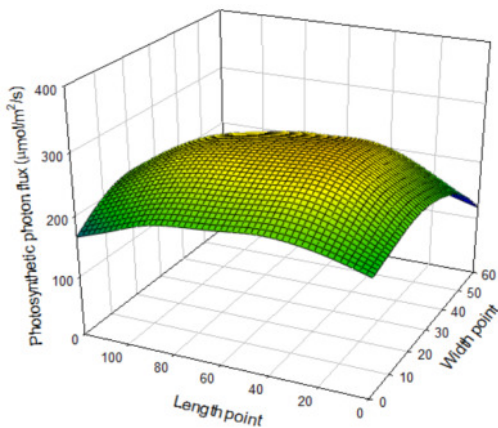
| 광원 종류 | 광원 개수(개) | 베드 규격(mm) | 광원-센서 거리(mm) | 측정 지점 | 비 고 |
|-------|----------|-----------|--------------|------------------|-----------------|
| F사 | 4, 5 | 1200×600 | 300 | 150×150mm (45지점) | 모듈의 3면 흰색종이로 반사 |

* 광량 및 광질 측정 센서: LI-190R+LI-250(400-700nm), LI-180(380-780nm)

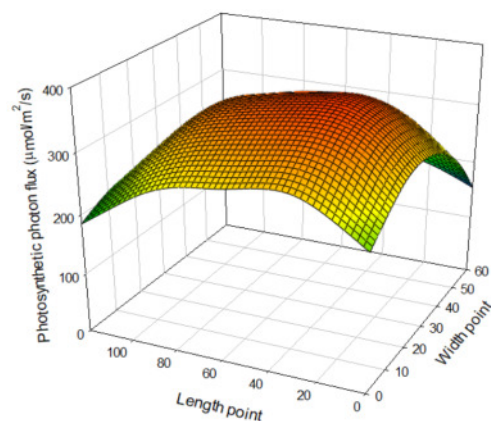
- LEDs 광원 4개는 평균 광량이 $216\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 로 기준 평균 광량 $250\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 에 미치지 못하는 성능을 보이며, 5개의 경우는 평균 광량이 $267\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 로 $250\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 이상의 성능을 가짐(표14)
- LEDs 광원 개수별 수평적 광균일도는 4개 설치 시 표준편차 48.9로 5개 설치 시 표준편차 64.0보다 24% 적었으나, 수평적 광분포도를 3차원 그래프(그림11)와 함께 비교한 결과 5개 설치와 유의미한 차이를 보이지 않는다고 판단함

표14 . 모듈 내 LEDs 광원 개수별 평균 광량

| LEDs 개수(개) | 전체 광량(평균±표준편차, $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) |
|------------|----------------------------------------------------------------------|
| 4 | 216±48.9 |
| 5 | 267±64.0 |



LEDs 광원 4개($216\pm 48.9\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)



LEDs 광원 5개($267\pm 64.0\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)

그림11. 모듈 내 LEDs 광원 개수별 수평적 광분포도

(5) 모듈 내 광균일도 제고를 위한 LEDs 광원 간격 설정

- 모듈 내 수평적 광균일도 향상을 위해 모듈 내 광량이 균일하지 않은 지점을 중심으로 7 가지 광 배치 시나리오(표15)를 설정하였음
- 모듈 안쪽은 타공판, 모듈 양옆에는 반사판이 설치될 예정이기 때문에 베드의 바깥쪽 지점이 광량이 불균일할 것을 고려하여 시나리오를 설정함
- 시나리오 1-3은 LED(1)의 위치를 벽면으로부터 75mm로 설정하여 나머지 LEDs를 배치하였고, 시나리오 4-7은 LED(1)의 위치를 벽면으로부터 45mm 설정하여 배치하였음
- * LEDs 광원 위치는 벽면으로부터의 거리로 나타내었음(그림12)

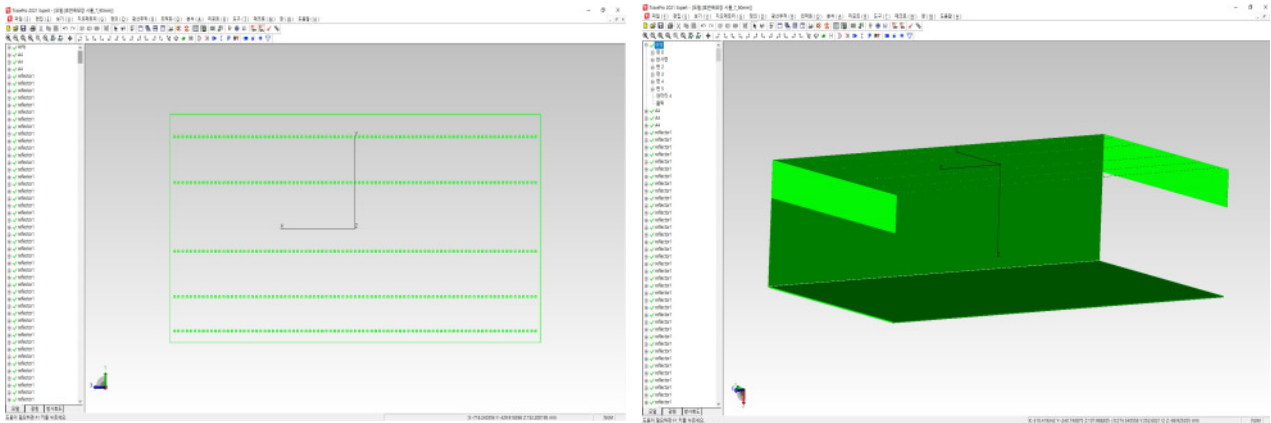
표15. 모듈 내 LEDs 광원 간격 구멍을 위한 시나리오별 간격

| 시나리오 | LED(1) 위치 | LED(2) 위치 | LED(3) 위치 | LED(4) 위치 | LED(5) 위치 |
|------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| A | 75mm | 225mm | 375mm | 495mm | 555mm |
| B | 75mm | 225mm | 345mm | 465mm | 555mm |
| C | 75mm | 225mm | 345mm | 435mm | 525mm |
| D | 45mm | 195mm | 345mm | 465mm | 555mm |
| E | 45mm | 195mm | 375mm | 465mm | 555mm |
| F | 45mm | 165mm | 375mm | 465mm | 555mm |
| G | 45mm | 165mm | 345mm | 465mm | 555mm |



그림12. LEDs 광원 설치 위치 단면도

- 시나리오별 수평적 광분포도 분석을 위해 광학 소프트웨어 TracePro(Lambda Research Co., Polyphasic, Littleton, USA)를 이용하여 3-D ray tracing을 실시하였음
- 광학 소프트웨어에 모듈 규격, 반사율, LEDs 광원 규격 및 성능 등 광학 특성을 입력하여 3-D 모델링을 실시하였음(그림13)
- * 3-D 모델 광원과 재배 베드 광원 거리 300mm로 설정함



식물공장형육묘시스템 모듈 3-D 모델 단면도(예)

식물공장형육묘시스템 모듈 3-D 모델 실루엣(예)

그림13. 광학 소프트웨어를 통한 육묘 모듈 3-D 모델링

- 설정된 모델을 3-D ray tracing(그림 15)을 실시하여 재배 베드의 수평적 광량분포를 분석하였음
- 3-D 모델 재배베드의 수평적 광량값을 24×12pixel (가로×세로) 총 288지점으로 나타낼 수 있도록 설정함(그림14)

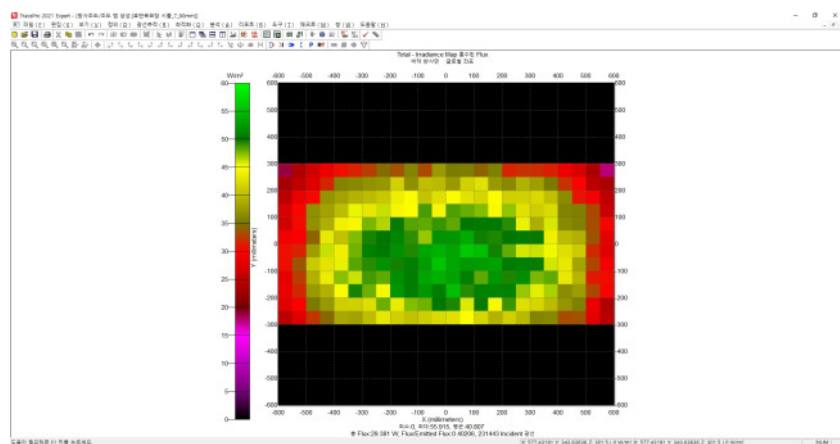
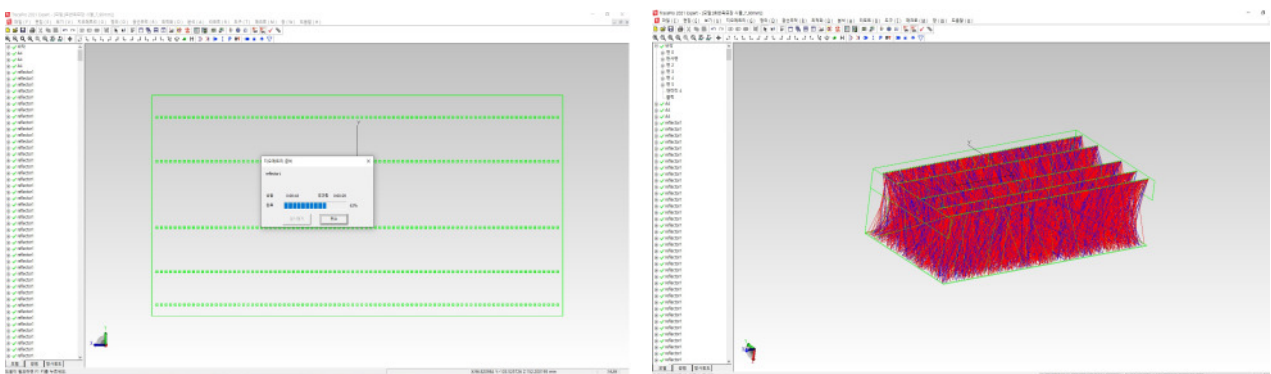


그림14. 광학 소프트웨어 수평 광분포 24×12pixel(가로×세로) 그래프(예)



3-D ray tracing 진행 과정(예)

3-D ray tracing 결과(예)

그림15. 광학 소프트웨어를 이용한 3-D ray tracing 결과

- 추정된 수평 광량값 총 288지점을 SigmaPlot (Systar, SanJose, CA, USA)을 이용하여 Filled contour graph로 나타냄(그림16)

- 그림 16을 통해 광량의 분포가 균일하게 나타나는 것은 범례별 색이 적게 나타나는 시나리오 D, F로 식별할 수 있음
 - 그림 16을 통해 광량의 분포가 불균일하게 나타나는 것은 범례별 색이 많이 나타나는 시나리오 B, C로 식별할 수 있음
- Filled contour graph를 통해 육안상으로만 균일도를 식별하는 것에는 한계가 있으므로 통계적 분석을 통해 수평적 광 균일도가 높은 시나리오를 선정하였음

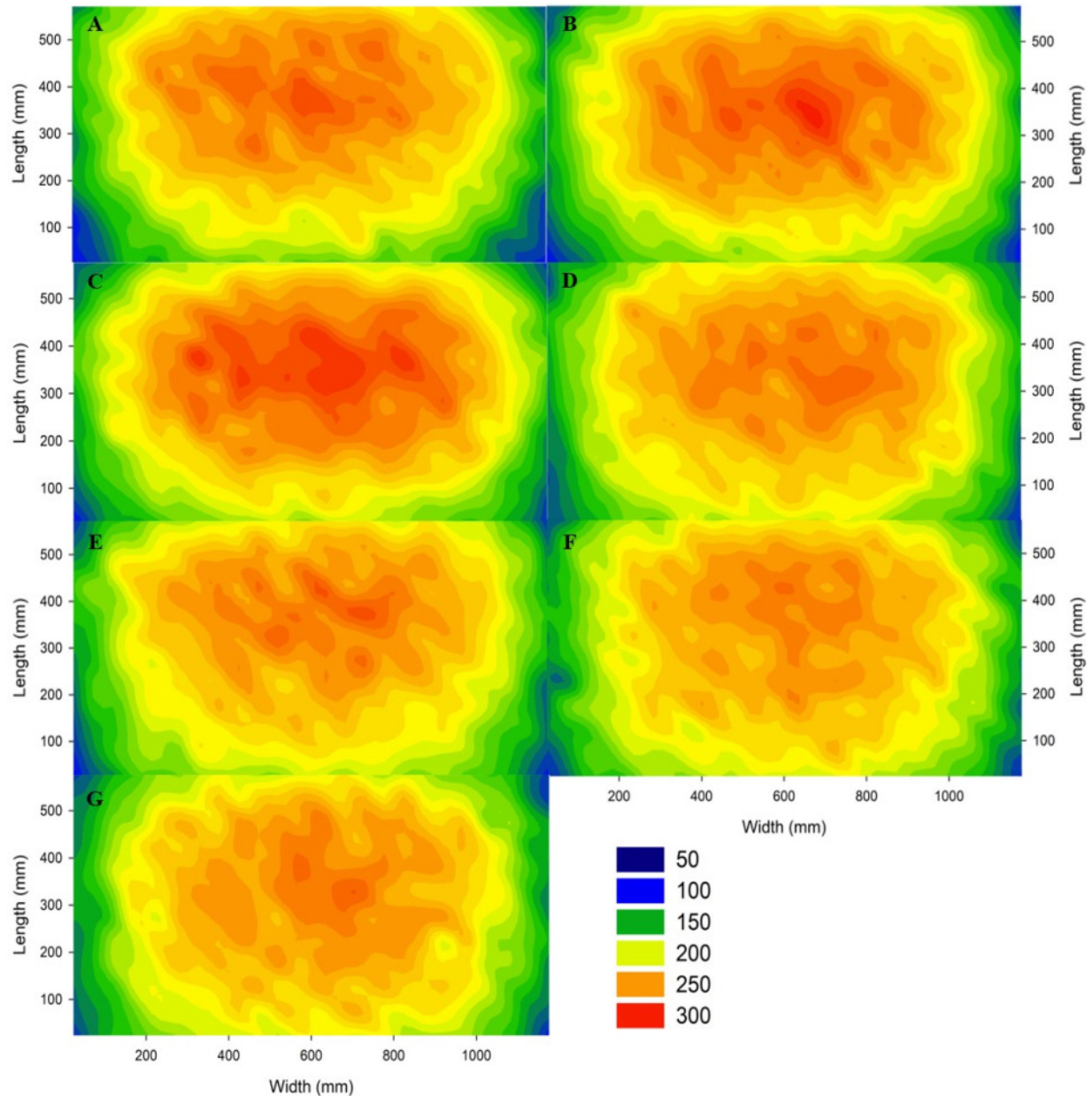


그림16. 시나리오별 광량 Filled contour graph

(A: 시나리오 A, B: 시나리오 B, C: 시나리오 C, D: 시나리오 D, E: 시나리오 E, F: 시나리오 F, G: 시나리오 G)

- Filled contour graph의 광량 범례별 면적분율 및 광량에 대한 변이계수를 시나리오간 비교를 통해 높은 광균일도를 가지는 시나리오 2개를 선정하였음
- Filled contour graph 광량 범례는 총 20개(표16)로 나타났으며, 범례 수준이 적게 나타날수록 광이 고르게 분포하는 것임
- 시나리오 D, F는 범례 수준이 총 16개, A, E G는 17개로 비교적 균일한 광 분포를 가

- 졌으며, 시나리오 B는 범례 수준이 총 20개로 광 분포가 가장 균일하지 않음(표16)
- 시나리오 A, E, G의 범례4 면적분율이 각 1% 이하(표16)로 시나리오 D, F와 함께 추정 광량에 대한 변이계수 비교가 추가적으로 필요하다고 판단함

표16. 시나리오별 Filled contour graph의 광량 범례별 면적분율

| 범례 | 시나리오 A (%) | 시나리오 B (%) | 시나리오 C (%) | 시나리오 D (%) | 시나리오 E (%) | 시나리오 F (%) | 시나리오 G (%) |
|----|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 1 | 0 | 0.32 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 0 | 0.87 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 3 | 0 | 1.86 | 2.81 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4 | 0.93 | 5.49 | 6.14 | 0 | 0.39 | 0 | 0.02 |
| 5 | 3.75 | 9.41 | 7.03 | 2.32 | 1.90 | 0.17 | 1.06 |
| 6 | 9.40 | 10.88 | 10.81 | 8.44 | 0.59 | 4.97 | 4.97 |
| 7 | 11.01 | 9.19 | 9.21 | 12.35 | 17.87 | 10.77 | 13.86 |
| 8 | 9.49 | 8.45 | 6.71 | 9.54 | 11.09 | 14.79 | 13.15 |
| 9 | 9.91 | 8.62 | 6.72 | 12.42 | 11.59 | 12.58 | 12.29 |
| 10 | 9.66 | 8.93 | 9.20 | 11.53 | 10.17 | 10.57 | 11.09 |
| 11 | 7.53 | 7.07 | 8.63 | 9.43 | 11.44 | 9.87 | 9.29 |
| 12 | 7.15 | 7.21 | 8.32 | 6.82 | 7.68 | 8.45 | 7.80 |
| 13 | 6.78 | 5.79 | 5.57 | 6.40 | 6.29 | 7.66 | 5.62 |
| 14 | 6.30 | 4.82 | 4.83 | 5.62 | 5.62 | 4.14 | 4.54 |
| 15 | 5.84 | 4.56 | 4.25 | 4.19 | 4.92 | 4.49 | 3.85 |
| 16 | 4.18 | 2.86 | 3.59 | 4.33 | 4.05 | 4.38 | 4.01 |
| 17 | 2.947 | 1.69 | 3.03 | 3.18 | 2.77 | 3.76 | 4.62 |
| 18 | 1.93 | 1.13 | 1.83 | 2.10 | 1.79 | 1.98 | 2.59 |
| 19 | 2.82 | 0.50 | 0.87 | 1.11 | 1.71 | 1.00 | 0.93 |
| 20 | 0.38 | 0.35 | 0.45 | 0.22 | 0.13 | 0.42 | 0.31 |
| 합계 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |

* 범례 수준 1→20으로 높아질수록 Red($300\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) 계열에서 Blue($50\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) 계열로 진행되는 것을 의미함

- 추정된 수평적 광량값 총 288지점에 대한 시나리오간 평균 광량값(표17)의 편차들은 생육에 큰 영향을 끼치지 않을 것으로 판단하였음
- 추정된 수평적 광량값에 대한 변이계수는 시나리오 F, G가 각각 18.2, 18.5%(표17)로 가장 낮게 나타났으며, Filled contour graph의 광량 범례별 면적분율을 복합적으로 고려하여 시나리오 F 및 G를 LEDs 광원 적정 간격으로 선정하였음

표17. 시나리오별 광량값에 대한 변이계수(%)

| 구분 | 시나리오 A | 시나리오 B | 시나리오 C | 시나리오 D | 시나리오 E | 시나리오 F | 시나리오 G |
|---------------------------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 평균 광량 ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) | 201.8 | 204.9 | 210.0 | 203.2 | 202.0 | 201.0 | 202.1 |
| 변이계수 (%) | 20.5 | 20.5 | 20.9 | 18.7 | 19.0 | 18.2 | 18.5 |

- 선정된 2개의 시나리오를 식물공장형육묘시스템에 적용 전 직접 제작한 간이 모듈에 적용하여 시나리오별 광량을 실측함 → 시뮬레이션을 통한 추정값을 비교하여 최종 시나리오를 선정하였음

- 광량 실측치와 추정치의 효율적인 비교를 위해 광학 소프트웨어 수평적 광분포 그래프를 9×5pixel (가로×세로)로 적용하였으며 실측치 또한 총 45지점을 측정하였음(표18)
- 간이 모듈은 광원 개수, 베드 규격 등(표18) 식물공장형육묘시스템에 적용될 모듈과 동일한 규격으로 제작하였음(그림17)

표18. LEDs 광원 간격 구멍을 위한 조사 환경 및 측정지점

| 광원 종류 | 광원 개수 (개) | 베드 규격 (mm) | 광원-센서 거리 (mm) | 측정 지점 | LEDs 간격 | 비 고 |
|-------|-----------|------------|---------------|------------------|-----------|--------------------------------|
| F사 | 5 | 1200×600 | 300 | 9×5 (총 288지점) | 시나리오 F, G | 모듈 뒤쪽 벽(흰색종이) 모듈 바닥(검정 부직포) |

* 광량 측정 센서: LI-190R+LI-250(400-700nm)

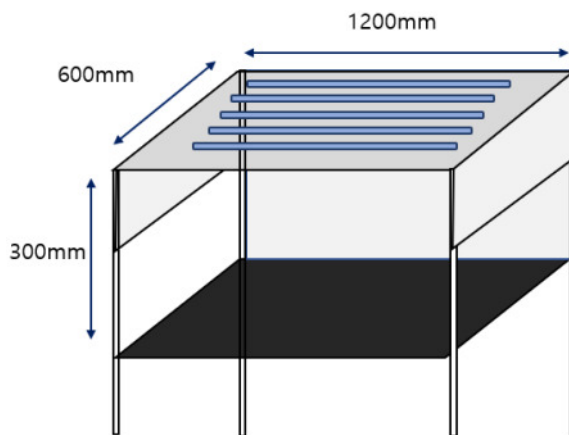


그림17. 실측치와 추정치 비교를 위한 간이 모듈 모식도

- 시나리오 F, G의 광량 실측치의 평균 광량값은 각각 168.4, 168.1 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 로 광량 추정치에 대한 평균 광량값 180.9, 181.9 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 보다 6.9%, 7.6% 낮았음(표19)
- 간이 모듈의 반사판이 흰색 종이로 되어 있어 식물공장형육묘시스템에 적용될 반사판의 반사율보다 다소 떨어지기 때문인 것으로 판단됨
- 시나리오 F, G의 광량 실측치의 변이계수는 각각 24.8%, 24.8%로 광량 추정치에 대한 변이계수 25.4%, 25.9%보다 2.4%, 4.2% 낮았음

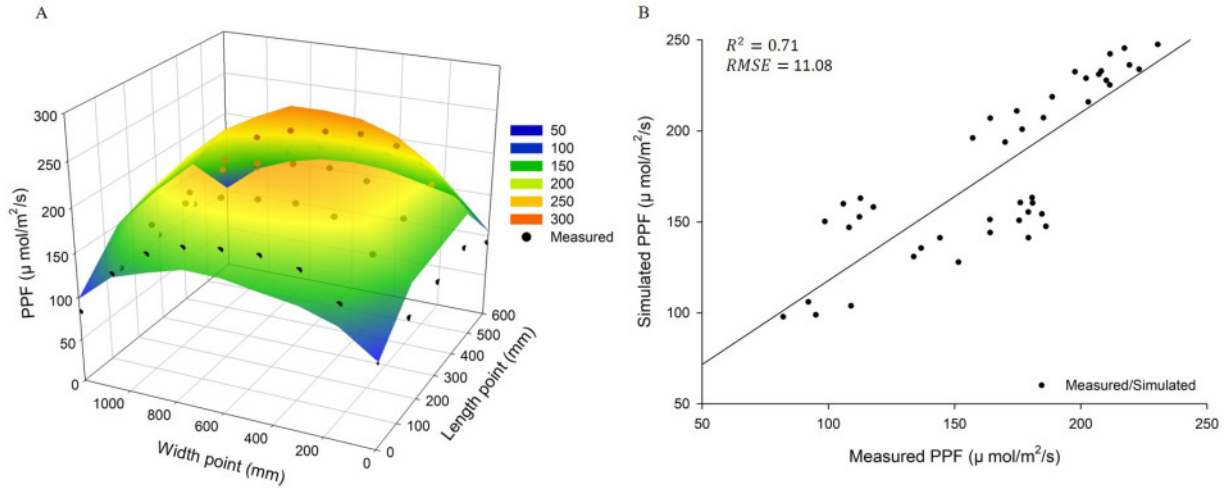
표19 . 시나리오별 실측치와 추정치의 평균 광량 및 변이계수

| 구분 | | 평균 광량 ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) | 변이계수 (%) |
|--------|-----|------------------------------------------------------------------|-------------|
| 시나리오 F | 추정치 | 180.9 | 25.4 |
| | 실측치 | 168.4 | 24.8 |
| 시나리오 G | 추정치 | 181.9 | 25.9 |
| | 실측치 | 168.1 | 24.8 |

- 시나리오별 광량 실측치의 평균 광량 및 변이계수 간 큰 차이를 보이지 않아 최종 LEDs 광원 간격을 선정을 위해 시나리오별 광량 실측치와 추정치의 회귀분석을 통한 R² 및

RMSE 분석을 통해 최종 LEDs 광원 간격을 선정하였음

- 시나리오 F의 광량 실측치 및 추정치를 3-D Scatter&Mesh 그래프로 표현한 결과, 추정치가 실측치보다 높게 나타남(그림18)
- 시나리오 F의 광량 실측치 및 추정치를 1대1 선상에서 검증한 결과, R^2 값은 0.71로 추정치의 71% 이상이 실측치와 직선적 관계를 보임(그림18)
- 시나리오 F의 광량 실측치 및 추정치에 대한 RMSE는 11.08로 비교적 낮게 나타남(그림18)

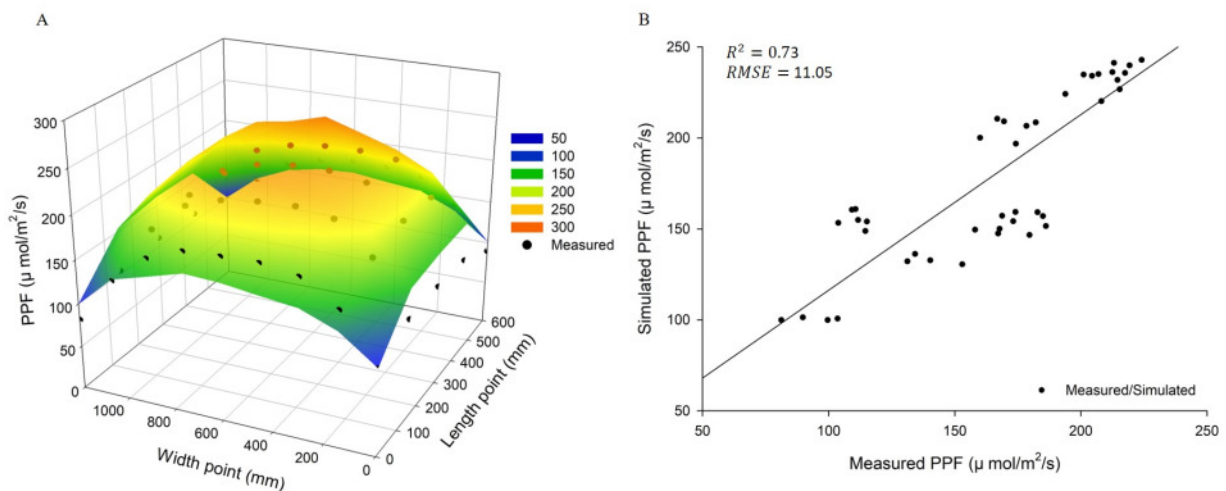


실측치 및 추정치에 대한 3-D Scatter & Mesh 그래프

실측치 및 추정치에 대한 선형 회귀 그래프

그림18. 시나리오 F 실측치 및 추정치에 대한 3-D Scatter & Mesh 그래프 및 선형 회귀 그래프

- 시나리오 G의 광량 실측치 및 추정치를 3-D Scatter&Mesh 그래프로 표현한 결과, 추정치가 실측치보다 높게 나타남(그림19)
- 시나리오 G의 광량 실측치 및 추정치를 1대1 선상에서 검증한 결과, R^2 값은 0.73로 추정치의 73% 이상이 실측치와 직선적 관계를 보임(그림19)
- 시나리오 G의 실측치 및 추정치에 대한 RMSE는 11.05로 비교적 낮게 나타남(그림19)



실측치 및 추정치에 대한 3-D Scatter & Mesh 그래프

실측치 및 추정치에 대한 선형 회귀 그래프

그림19. 시나리오 G 실측치 및 추정치에 대한 3-D Scatter & Mesh 그래프 및 선형 회귀 그래프

○ 시나리오 G가 F에 비해 광량 실측치와 추정치 간 더 강한 직선적 관계를 보였으며, 정확한 광량 추정을 위해 시나리오 G를 적정 LEDs 광원 간격으로 선정하였음

(6) 광이용효율 제고를 위한 모듈 내 광 반사판 높이 선정

- 식물공장형육묘시스템 내부 광이용효율을 높이기 위해 양쪽 반사판의 높이에 따른 수평적 광분포를 3-D ray tracing을 통해 프로파일링하여 적정 반사판 높이를 선정함
- 반사판의 높이는 60(그림20), 90, 120, 240 및 300mm로 총 5개에 대한 모듈 내 수평적 광 분포를 프로파일링하고, 모듈 천장의 LEDs 광원 양 끝쪽에 반사판을 설치함

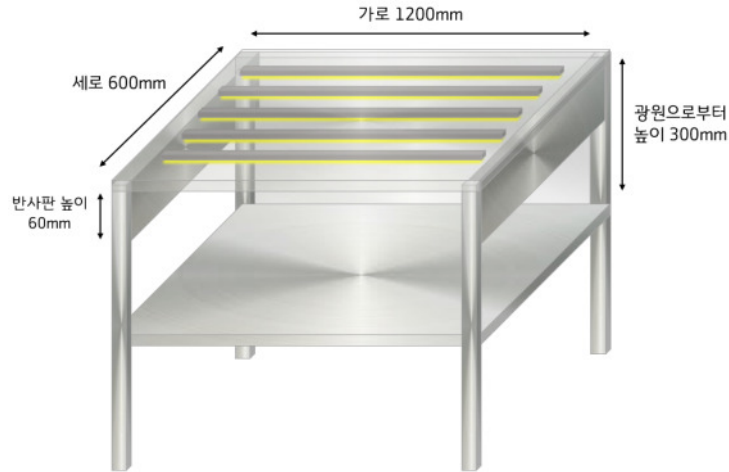


그림20. 반사판 높이 60mm 간이 모듈 모식도(예)

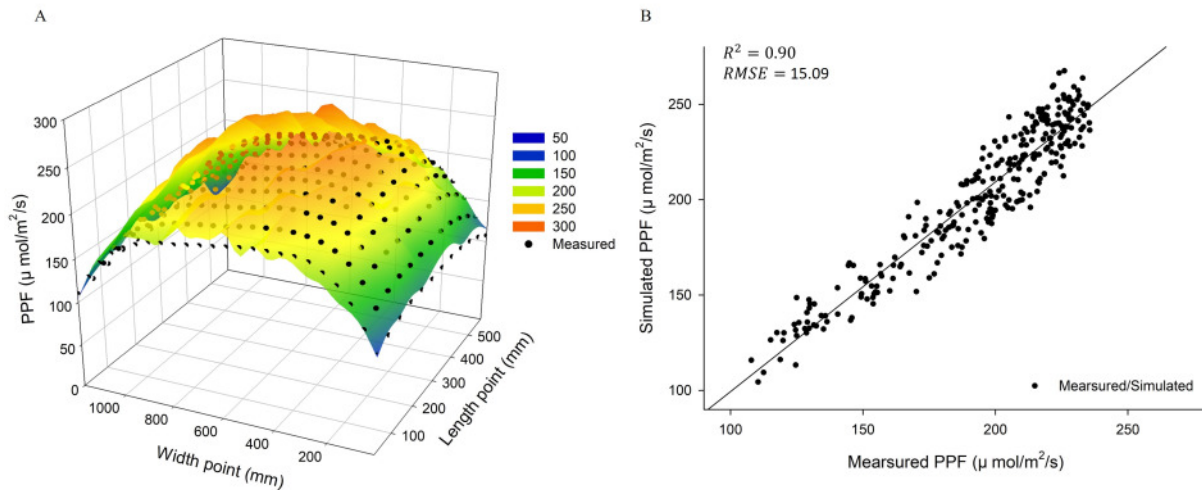
- 반사판의 높이 60, 90, 120, 240, 300mm에 따른 모듈 내 수평적 광 분포를 프로파일링한 결과, 평균 광량 추정치가 각각 200.3, 201.0, 201.6, 204.1, 205.4 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 로 광량이 반사판의 높이가 높아질수록 높아짐(표20)
- 반사판의 높이 60, 90, 120, 240, 300mm에 따른 모듈 내 평균 광량 추정치에 대한 변이계수는 각각 18.2, 18.2, 18.1, 17.2, 16.3%로 변이계수가 점차 낮아지는 것을 통해 광 균일도는 반사판의 높이가 높아질수록 높아지는 것을 알 수 있음(표20)

표20. 반사판 높이별 평균 광량 및 변이계수

| 구분 | 60mm | 90mm | 120mm | 240mm | 300mm |
|------------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 평균 광량 ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) | 200.3 | 201.0 | 201.6 | 204.1 | 205.4 |
| 변이계수 (%) | 18.2 | 18.2 | 18.1 | 17.2 | 16.3 |

- 5단 모듈 제작 시 공간적 제약이 따를 수 있으므로 적절한 높이의 반사판을 설치 해야하며, 이에 LEDs 광원 양쪽 끝에 광원으로부터 90mm 높이의 반사판을 설치하는 것이 식물공장형육묘시스템 육묘 모듈에 가장 효율적일 것으로 판단됨
- 반사판 설치 비용 및 작업의 편의성을 고려하였을 때, 100mm 높이 반사판을 설치하는 것이 효율적일 것으로 판단하여 식물공장형육묘시스템에 적용할 반사판 높이를 90mm가 아닌 100mm로 선정하였음
- 광학 시뮬레이션을 통해 얻은 결과가 정확한지 판단하기 위해 반사판의 높이 100mm를 적용한 간이 모듈을 제작하여 광량 실측치를 프로파일링하고, 광학 시뮬레이션을 통한 광량 추정치와 1대1 선상에서 검증하였음

- 3-D 모델 재배 베드의 수평적 광량값(추정치)을 26×12pixel(가로×세로) 총 312지점으로 설정하여, 더 정밀한 비교, 분석을 실시함 → 광량 추정치와 비교를 위해 간이 모듈 내 광 측정지점을 312지점으로 설정함
- 반사판의 높이 100mm에 대한 간이 모듈 내 광량 실측치 및 추정치를 3-D Scatter&Mesh 그래프로 표현한 결과, 추정치가 실측치보다 높게 나타남(그림21)
- 광량 실측치 및 추정치를 1대1 선상에서 검증한 결과, R^2 값은 0.90로 추정치의 90% 이상이 실측치와 직선적 관계를 보임(그림21) → R^2 값이 증가한 이유는 비교지점이 증가(288→312)하여 더 정밀한 분석이 가능하였기 때문임
- 실측치 및 추정치에 대한 RMSE는 15.09로 비교적 낮게 나타남(그림21)



실측치 및 추정치에 대한 3-D Scatter & Mesh 그래프

실측치 및 추정치에 대한 선형 회귀 그래프

그림21. 반사판 높이 100mm 실측치 및 추정치에 대한 3-D Scatter & Mesh 그래프 및 선형 회귀 그래프

- LEDs 광원의 광량, 수평적 광 균일도, 광질을 프로파일링한 결과, 식물공장형육묘시스템에 적용할 LEDs 광원은 적절한 광합성 유효 파장대, 높은 광량값 및 수평적 광 균일도를 가지는 F사 LEDs 광원으로 선정함
- 총 5개의 LEDs 광원에 시나리오 G를 적용하여 광 균일도를 향상 시켰으며, 반사판 이용을 통해 광 이용효율을 제고함과 동시에 반사판 설치 비용 및 작업의 편의성을 고려하여 반사판 높이를 100mm로 선정함
- 3-D ray tracing을 통한 광학 시뮬레이션의 평균 광량 추정치가 실측치와 강한 직선적 관계를 나타냈기 때문에 실제 식물공장형육묘시스템에 프로파일링 결과를 잘 반영할 것으로 판단됨

2) 식물공장형육묘시스템 현장실증 실험

(1) 식물공장형육묘시스템 육묘생산 기준 확립

- 식물공장형육묘시스템 육묘생산 기준 확립을 위해 식물공장형육묘시스템이 설치된 육묘장에서 현장실증을 실시함
 - 현장실증 장소 : 호*영농조합법인(강원도 춘천시 동면)
 - 현장실증 기간 : 2021.03.04.-2021.04.03.(1차), 2021.05.06.-2021.06.02.(2차)
 - 현장실증 목적 : 식물공장형육묘시스템을 통한 과채류 접수 및 대목 생산 기준을 확립

- 식물공장형육묘시스템에서 확립될 육묘생산 기준을 비교, 분석을 위해 호*영농조합법인 육묘생산 현장에서 관행 육묘 생산 방법을 사전 조사함(그림22)



그림22. 호*영농조합법인 육묘 생산 현장

- 호*영농조합법인 사전 조사항목은 품종 및 품목, 자재, 발아 환경, 육묘 환경 및 육묘 생육 일수임(표21)

표21. 호*영농조합법인 사전 조사 항목

| 구분 | 내용 |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 품종 및 품목 | 오이 종자(접수-백다다기, 대목-흑종), 수박 종자(접수-조은꿀, 대목-블로장생) 고추 종자(접수-(청양)신흥고추, 대목-탄탄), 토마토 종자(접수-라피도, 대목-B블로킹) |
| 자재 | 트레이, 상토, 비료 |
| 발아 환경 | 작물의 접수/대목별 발아 온도, 상대습도, 관수, 발아 일수 및 시간 |
| 육묘 환경 | 작물의 접수/대목별 육묘 기간 온도, 상대습도, 관수시점 및 관수량, 비료 조성(N:P:K), 비료 농도 (EC, pH) |
| 육묘 생육 일수 | 작물 접수/대목별 육묘 생산 단계별 생육 일수 |

- 오이 접목묘의 접수 품종은 백다다기이며 대목 품종은 흑종, 수박 접목묘의 접수 품종은 조은꿀이며 대목 품종은 블로장생, 고추 접목묘의 접수 품종은 (청양)신흥고추이며 대목 품종은 탄탄이며, 토마토 접목묘의 접수 품종은 라피도이며 대목 품종은 B블로킹임
- 오이 접수 및 대목 모종의 파종 및 발아 일수는 각각 2일, 2일(표22)로 출하 시기와 관계없이 항상 일정함
- 오이 접수 및 대목 모종의 1차 육묘(접목 전) 일수는 출하 시기별로 다르게 나타났으며, 7월에 각각 8일, 7일로 가장 짧음(표22)
- 오이 접목묘의 접목 활착에 소요되는 일수는 7일로 출하 시기와 관계없이 항상 일정함(표22)
- 오이 접목묘의 2차 육묘(출하 시) 일수는 출하 시기별로 다르게 나타났으며, 7월, 8월 및 9월에 6일로 가장 짧음(표22)
- 오이 접목묘 생산에 소요되는 총 육묘 일수는 1월, 12월에 각각 40일, 40일로 가장 길며, 7월에 23일로 가장 짧음(표22)

표22. 호*영농조합법인 관행의 오이 접목묘 생산 일수

| 출하 (월) | 작물 부위 | 육묘 생육 일수 | | | | | 총 육묘 일수 |
|-----------|-------|----------|-----------------|-------|----|-----------------|---------|
| | | 파종-발아 | 1차 육묘 (접목 전) | 접목 활착 | | 2차 육묘 (출하 시) | |
| | | | | 활착실 | 온실 | | |
| 1 | 접수/대목 | 2 / 2 | 13 / 10 | 7 | - | 18 | 40 |
| 2 | 접수/대목 | 2 / 2 | 13 / 10 | 7 | - | 16 | 38 |
| 3 | 접수/대목 | 2 / 2 | 12 / 10 | 7 | - | 12 | 33 |
| 4 | 접수/대목 | 2 / 2 | 11 / 9 | 7 | - | 10 | 30 |
| 5 | 접수/대목 | 2 / 2 | 10 / 9 | 7 | - | 9 | 28 |
| 6 | 접수/대목 | 2 / 2 | 9 / 8 | 7 | - | 6 | 24 |
| 7 | 접수/대목 | 2 / 2 | 8 / 7 | 7 | - | 6 | 23 |
| 8 | 접수/대목 | 2 / 2 | 9 / 8 | 7 | - | 6 | 24 |
| 9 | 접수/대목 | 2 / 2 | 10 / 9 | 7 | - | 9 | 28 |
| 10 | 접수/대목 | 2 / 2 | 11 / 9 | 7 | - | 10 | 30 |
| 11 | 접수/대목 | 2 / 2 | 12 / 10 | 7 | - | 12 | 35 |
| 12 | 접수/대목 | 2 / 2 | 13 / 10 | 7 | - | 16 | 40 |

- 수박 및 고추 접목묘 출하 시기는 4월과 5월로 한정되어 생산되고 있음(표23)
- 수박 및 고추 접목묘 파종, 발아 일수는 접수 및 대목 모두 2일로 동일함(표23)
- 수박 및 고추 접목묘 접목 활착 일수는 총 10일로 모두 동일하며, 2차 육묘 일수는 4월에 각각 15일, 18일이며, 5월에 각각 12일, 15일임(표23)
- 수박 및 고추 접목묘 총 육묘일수는 4월에 각각 40일, 70일이며, 5월에 각각 35일, 55일임(표23)
- 고추 접목묘 생산 일수는 다른 과채류 접목묘보다 오래 소요되는 것을 알 수 있음

표23. 호*영농조합법인 관행의 수박, 고추 접목묘 생산 일수

| 출하 (월) | 작물부위 | 육묘 생육 일수 | | | | | 총 육묘 일수 |
|-----------|------------|----------|-----------------|-------|----|-----------------|---------|
| | | 파종-발아 | 1차 육묘 (접목 전) | 접목 활착 | | 2차 육묘 (출하 시) | |
| | | | | 활착실 | 온실 | | |
| 4 | (수박) 접수/대목 | 2 / 2 | 13 / 12 | 7 | 3 | 15 | 40 |
| | (고추) 접수/대목 | 2 / 2 | 41 / 40 | 7 | 3 | 18 | 70 |
| 5 | (수박) 접수/대목 | 2 / 2 | 11 / 10 | 7 | 3 | 12 | 35 |
| | (고추) 접수/대목 | 2 / 2 | 28 / 27 | 7 | 3 | 15 | 55 |

- 토마토 접수 및 대목 모종의 파종, 발아 일수는 각각 모두 2일(표 15)로 출하 시기와 관계없이 항상 일정함
- 토마토 접수 및 대목 모종의 1차 육묘(접목 전) 일수는 출하 시기별로 다르게 나타났으며, 7월에 각각 18일, 17일로 가장 짧음(표24)
- 오이 접목묘의 접목 활착에 소요되는 일수는 10일로 출하 시기와 관계없이 항상 일정함(표24)
- 오이 접목묘의 2차 육묘(출하 시) 일수는 출하 시기별로 다르게 나타났으며, 7월에 15일로 가장 짧음(표24)
- 오이 접목묘 총 육묘 일수는 1월에 75일로 가장 길며, 7월에 45일로 가장 짧음(표24)

표24. 호*영농조합법인 관행의 토마토 접목묘 생산 일수

| 출하 (월) | 작물 부위 | 파종-발아 | 육묘 생육 일수 | | | | 총 육묘 일수 |
|-----------|-------|-------|-----------------|-------|----|-----------------|---------|
| | | | 1차 육묘 (접목 전) | 접목 활착 | | 2차 육묘 (출하 시) | |
| | | | | 활착실 | 온실 | | |
| 1 | 접수/대목 | 2 / 2 | 33 / 30 | 7 | 3 | 30 | 75 |
| 2 | 접수/대목 | 2 / 2 | 31 / 28 | 7 | 3 | 27 | 70 |
| 3 | 접수/대목 | 2 / 2 | 28 / 26 | 7 | 3 | 25 | 65 |
| 4 | 접수/대목 | 2 / 2 | 26 / 24 | 7 | 3 | 22 | 60 |
| 5 | 접수/대목 | 2 / 2 | 23 / 22 | 7 | 3 | 20 | 55 |
| 6 | 접수/대목 | 2 / 2 | 20 / 19 | 7 | 3 | 18 | 50 |
| 7 | 접수/대목 | 2 / 2 | 18 / 17 | 7 | 3 | 15 | 45 |
| 8 | 접수/대목 | 2 / 2 | 20 / 19 | 7 | 3 | 18 | 50 |
| 9 | 접수/대목 | 2 / 2 | 23 / 22 | 7 | 3 | 20 | 55 |
| 10 | 접수/대목 | 2 / 2 | 26 / 24 | 7 | 3 | 22 | 60 |
| 11 | 접수/대목 | 2 / 2 | 28 / 26 | 7 | 3 | 25 | 65 |
| 12 | 접수/대목 | 2 / 2 | 31 / 28 | 7 | 3 | 27 | 70 |

- 발아 조건은 대상 작물 모두 28±1℃, 상대습도 100% 및 관수량 파종 직후 1회임(표25)
- 육묘 조건은 대상 작물 모두 온실에서 육묘하고 있으며, 주간 기온은 20-35℃이며, 야간 기온은 9-15℃로 관리하고 있음(표26)
- 광량과 광주기는 자연광으로 별도의 제어 없이 관리하고 있으며, 양액은 1.2-1.5ds/m로 관수하고 있음(표26)

표25 . 호*영농조합법인 관행의 발아 조건

| 작물 | 온도(℃) | 상대 습도(%) | 관수량 |
|----------------------------|-------|----------|----------|
| 오이, 수박, 고추, 토마토 (접수/대목) | 28±1 | 100 이상 | 파종 직후 1회 |

표26. 호*반영농조합법인 관행의 육묘 조건

| 온도(℃) | 습도(%) | 광량 ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) | 광주기 (h) | 양액 (dS/m) | 관수 |
|--------------------|-------|---------------------------------------------------------------|------------|----------------------|----|
| 주간 20-35 / 야간 9-15 | 제어 없음 | 제어 없음 | 제어 없음 | TECHNIGRO 1.2-1.5 | 매일 |

(2) 식물공장형육묘시스템 설치

- 식물공장형육묘시스템은 2021년 02월 호*영농조합법인 내 설치됨
- 식물공장형육묘시스템 설치 내역은 환경제어 컨트롤러, 인공광원, 내부환경 센서, 영상장치로 구분됨(표27)
 - * (환경 측정장치) 내부 온·습도계
 - * (제어장치) 환경제어 입출력부, 가습기 및 유동팬 작동 제어기, 광주기 제어기, 급수 제어기, 광량 디밍 기능
 - * (영상장치) 도난 및 시스템 정상 작동 여부 등을 확인하기 위한 육묘시스템 내·외부 CCTV 설치
- 시스템 내부 실시간 온·습도 측정 및 제어를 통해 균일한 품질의 접목묘 생산이 가능하도록 함
- 현장에 적용한 식물공장형육묘시스템은 복합환경조절이 가능하도록 PLC(Programmable logic controller) 제어를 함

표27 . 식물공장형육묘시스템 설치 내역

| 구분 | 품목 | 주요 기능 및 사양 |
|-----------|------------------------------------------------|---------------------------|
| 환경제어 컨트롤러 | Programmable logic controller | 복합환경제어컨트롤러 |
| 환겨제어 컨트롤러 | Medium filter of Hepa filter | 밀폐된 공간에 청정공기 공급 |
| 환경제어 컨트롤러 | Hermetically sealed air cooled condensing unit | 내부 온도 조절 |
| 환경제어 컨트롤러 | 가습기 | 내부 습도 조절 |
| 인공광원 | LEDs-Futergreen 28W | 식물체 광 공급 |
| 내부환경 센서 | 온습도 센서 | 내부 환경 데이터를 실시간 리딩 및 환경 조절 |
| 영상장치 | CCTV 카메라 | 도난 및 시스템 정상작동 여부 확인 |

- 생육환경 데이터를 실시간으로 입·출력부 디스플레이로 나타내어 정밀한 환경 및 작물 관리가 가능하도록 함
 - 입·출력부 디스플레이는 터치스크린으로 구성되어 있고, 사용자의 입력을 받아 환경 세팅을 설정할 수 있음(그림23)



입출력부 디스플레이 홈 화면

환경 세팅 입력 화면

그림23. 복합환경제어컨트롤러 입출력부 디스플레이

- 관수는 1일 기준으로 1회 최대 3시간까지 설정이 가능하며, 기온 9-35℃, 상대습도 50-85% 및 광량 36-450 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 의 범위(표 21)에서 복합환경제어가 가능함

표28. 식물공장형육묘시스템 환경제어 가능 범위

| 구분 | 제어 가능 범위 |
|------|--------------------------------------------|
| 관수 | 1일 1회 3시간, 1STEP 8L/H |
| 온도 | 9-35℃ |
| 상대습도 | 50-85% |
| 광량 | 36-450 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ |

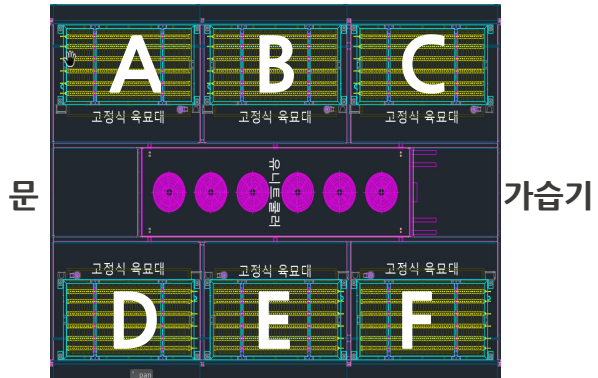
- 식물공장형육묘시스템 내 육묘실 크기는 4525×3037mm(가로×세로)로 총 4개의 육묘실이 있음(표29)
 - 육묘실 내부에는 5단으로 이루어진 고정식 육묘 모듈(육묘대)이 총 6개 있음(그림24)
 - 육묘 모듈 규격은 1225×745×80(가로×세로×높이)mm(표21)로 스티로폼 베드로 이루어져 있음(그림24)

표29. 식물공장형육묘시스템 내 육묘실 규격

| 구분 | | 내용 |
|-----------------|---------|-------------------------------|
| 식물공장형육묘시스템실 크기 | | 4525mm*3037mm (4ROOM) |
| 육묘 모듈 규격 | | 1225mm*745mm*80mm |
| 스티로폼 베드 규격 및 개수 | | 1225mm*745mm*80mm, 30EA*4ROOM |
| LED로부터의 거리 | 바닥 | 300mm |
| | 스티로폼 베드 | 260mm |
| | 트레이 | 210mm |



식물공장형육묘시스템 내 육묘실 내부



식물공장형육묘시스템 내 육묘실 단면도

그림24. 식물공장형육묘시스템 내 육묘실

(3) 식물공장형육묘시스템 시험 가동

- 식물공장형육묘시스템의 성능을 파악하기 위해 각 육묘실마다 다른 환경 조건을 설정하여 모듈 안정화 및 개별제어작동 여부를 확인함
 - 설정 광량 및 광주기에 맞게 광환경이 조절되는지 확인, 설정 온도 및 상대습도로 환경이 유지되는지 확인, 관수가 설정값(요일, 시간, 양)에 맞게 조절되는지 확인
 - 4개의 육묘실에서 16시간(주/야간 8/4시간) 기준으로 세팅하여 프로파일링을 실시함(표30)

표30. 식물공장형육묘시스템 시험 가동 환경 시나리오

| 육묘실 | 기온(℃) | 습도(%) | 광량 ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) | 광주기 (h) | 양액 (ds/m) | 관수 |
|-----|--------|--------|---------------------------------------------------------------|------------|--------------|------------------------|
| 1 | 주간(25) | 주간(70) | 200 | 주간 12 | 한방 1.4 | 1일 1회 2L관수/트레이, 10분 포습 |
| | 야간(20) | 야간(85) | | 야간 4 | | |
| 2 | 주간(25) | 주간(70) | 250 | 주간 12 | 한방 1.4 | 1일 1회 2L관수/트레이, 10분 포습 |
| | 야간(20) | 야간(85) | | 야간 4 | | |
| 3 | 주간(25) | 주간(70) | 300 | 주간 12 | 한방 1.4 | 1일 1회 2L관수/트레이, 10분 포습 |
| | 야간(20) | 야간(85) | | 야간 4 | | |
| 4 | 주간(25) | 주간(70) | 350 | 주간 12 | 한방 1.4 | 1일 1회 2L관수/트레이, 10분 포습 |
| | 야간(20) | 야간(85) | | 야간 4 | | |

* 광량 및 광질 측정 센서: LI-190R+LI-250(400-700nm), LI-180(380-780nm)

* 온·습도: 통풍 건습계(thermocouple type T)

* 데이터로거(CR1000X 및 CR1000)에 10분/60분/1440분 간격으로 데이터를 저장함

- LEDs 광원의 광량 측정은 광원으로부터 200mm, 230mm에서 육묘 베드 내 총 312지점을 측정함
 - 광원으로부터 230mm 위치에서 설정 광량 200, 250, 300, 350 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 에 따른 평균

광량값은 각각 193, 219, 275, 305 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 로 설정 광량보다 각각 3.5, 12.4, 8.3, 12.9% 낮게 나타남

- 식물이 실제 위치하는 트레이 위 높이 200mm 위치에서는 설정 광량에 따른 평균 광량값은 각각 202, 242, 293, 336 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 로 설정 광량보다 각각 1, 3.2, 2.3, 4% 낮게 나타났으며 설정 광량에 맞게 정밀하게 제어됨(표 31)
- 광원으로부터 230mm 위치에서 설정 광량에 따른 변이계수는 각각 12.8, 13.0, 13.2, 13.1%로 나타났으며, 200mm 위치에서 변이계수는 각각 15.6, 12.9, 14.8, 14.8%로 나타남

표31. LEDs 광원 설정 광량 및 거리에 따른 실측 광량

| 설정 광량($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) | 광원으로부터 230mm(바닥 높이) | | 광원으로부터 200mm(트레이 위) | |
|--------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|----------|--------------------------------------------------------------|----------|
| | 평균 광량($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) | 변이계수 (%) | 평균 광량($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) | 변이계수 (%) |
| 200 | 193 | 12.8 | 202 | 15.6 |
| 250 | 219 | 13.0 | 242 | 12.9 |
| 300 | 275 | 13.2 | 293 | 14.8 |
| 350 | 305 | 13.1 | 336 | 14.8 |

- 전체적으로 광량에 대한 변이계수가 낮아 수평적 광 균일도가 높아 보일 수 있으나, 설정 광량에 상관없이 육묘 베드 중간 부분(식물이 집중적으로 위치한 부분)에서 광량이 현저히 떨어지는 결과(그림25)를 보였으며, 이는 광 균일도 제고를 위해 선정된 LEDs 광원 간격 시나리오 G를 반영하지 못한 결과로 판단됨 → 수평적 광 균일도가 다소 떨어져 식물체 생장이 균일하지 못할 것으로 판단됨

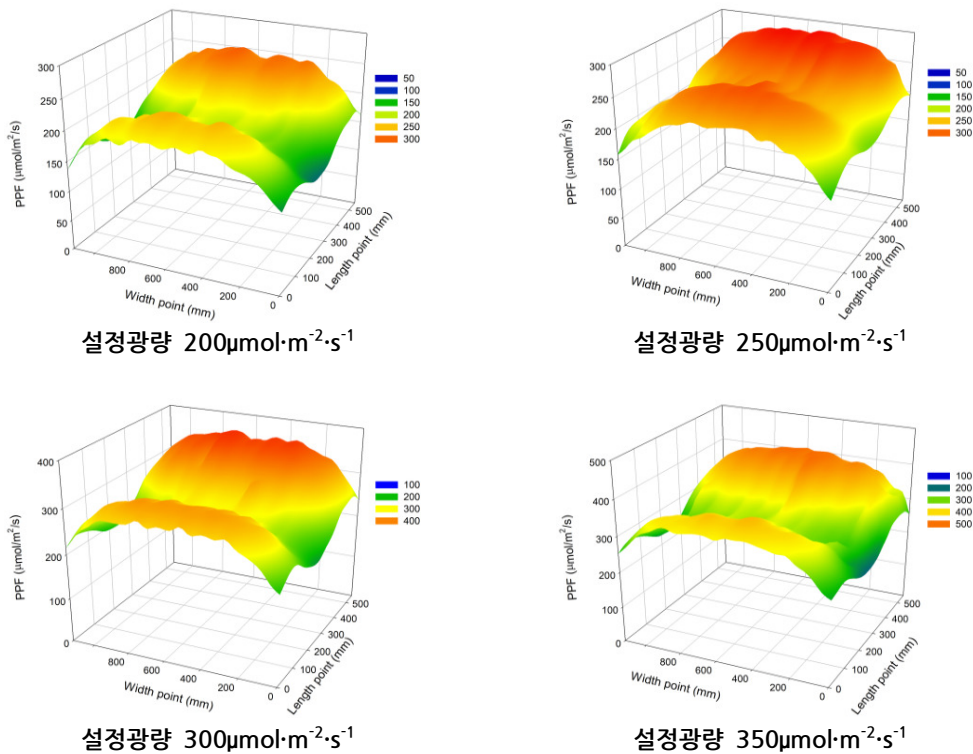


그림25. 1차 현장실증 광원으로 200mm거리의 LEDs 광량별 광분포도

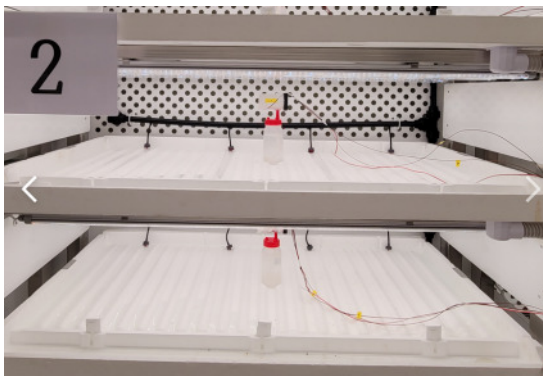
- 광량 시험 가동 프로파일링 결과, 설정 광량이 높을수록, 광원으로부터 거리가 가까워질수록 실측되는 광량값이 높아지고, 시나리오별 광주기가 설정한 시간에 정확히 제어됨을 확인함

- 4개의 육묘실에서 6개 모듈을 12시간 동안 온·습도 프로파일링함(표32)
 - 육묘 모듈 단별 온습도 측정지점은 육묘 베드 중앙 지점(그림26)으로 총 30지점(6개 모듈×5단)에서 측정함
 - 수평적 기온 프로파일링 결과, 같은 단(수평적 위치)에서 최대 1.6℃까지 편차 발생함
 - 수직적 기온 프로파일링 결과, 1단과 5단에서 최대 1.7℃까지 편차 발생함

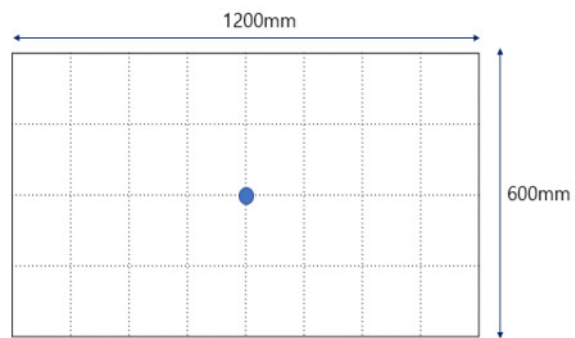
표32. 1차 현장실증 육묘실 설정 온도에 따른 실측 기온

| 육묘실 | 주/야간 기온(℃) | | | | |
|-----|------------|---------|---------|---------|---------|
| | 1단 | 2단 | 3단 | 4단 | 5단 |
| 1 | 26±0.2 | 27±0.2 | 27±0.4 | 26±0.2 | 26±0.5 |
| | /22±0.6 | /22±0.5 | /22±0.5 | /21±0.8 | /21±1.0 |
| 2 | 26±0.3 | 27±0.3 | 27±0.3 | 26±0.4 | 26±0.4 |
| | /22±0.6 | /22±0.5 | /22±0.5 | /21±0.8 | /21±0.9 |
| 3 | 26±0.3 | 27±0.4 | 27±0.3 | 26±0.3 | 26±0.6 |
| | /22±1.2 | /22±1.3 | /22±1.2 | /21±1.4 | /21±1.6 |
| 4 | 26±0.5 | 27±0.3 | 26±0.2 | 26±0.2 | 26±0.4 |
| | /22±0.5 | /22±0.5 | /22±0.4 | /21±0.8 | /21±0.9 |

* 상대습도는 통풍건습계 성능이 떨어져 1차 현장실증에서는 수집하지 못함(2차 현장실증 데이터 참조)



육묘 모듈 내 설치된 통풍건습계



육묘 베드 내 온·습도 측정지점

그림26. 1차 현장실증 식물공장형육묘시스템 내 환경 통풍건습계 및 온·습도 측정지점

- 온·습도 시험 가동 프로파일링 결과, 측정 기온에 대한 전체적인 편차가 1.0℃ 미만으로 정밀하게 제어됨을 확인하였으며, 습도의 경우 데이터를 수집하지 못함(표32)
- 관수 시험 가동 프로파일링 결과, 설정한 관수 시작 시간 및 지속 시간에 맞추어 관수 되는 것을 확인하였으며, 관수 지속 시간을 0분으로 설정하면 20초 관수 후 정지됨을 확인함
 - 관수 시 베드에 물이 가득 찰 때까지 20분이 소요되어, 작물 생육환경에 과습을 유발할 수 있으며, 관수 시 같은 베드 내에서 위치별로 양액이 차오르는 속도 및 양이 모듈 단 별마다 차이가 있음
 - 스티로폼 베드의 구배가 맞지 않아 모듈 단별 균일한 관수가 불가함

(4) 접수 및 대목 생산환경 프로파일링 및 성능 평가

- 시험 가동 프로파일링 결과, 식물공장형육묘시스템의 환경이 제대로 제어됨을 확인하였으며, 시험 대상 작물의 환경조건별 프로파일링을 실시함

- 박과 작물(오이, 수박) 및 가지과 작물(고추, 토마토)에 설정한 환경 조건은 다름(표33)
- 환경 프로파일링 조사 항목은 다음과 같음
- * (광량 및 광주기) 설정 광량 및 광주기에 맞게 광환경이 조절되는지 확인
- * (온도 및 상대습도) 설정 온도 및 상대습도로 환경이 유지되는지 확인
- * (관수) 관수가 설정값(요일, 시간, 양)에 맞게 조절되는지 확인
- * (풍속) 작물 생장에 필요한 미세기류 분포가 균일하게 제어되는지 확인
- * 대상 작물: 오이, 수박, 고추, 토마토

표33. 1차 시험 대상 작물별(오이, 수박, 고추, 토마토) 설정 환경조건

| 온도(°C) | 습도(%) | 광량($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) | 광주기(h) | 양액(ds/m) | 관수 시점 |
|------------------|------------------|-----------------------------------------------------------|---------------------------------------------|----------|---------------|
| 주간(25) 야간(20) | 주간(70) 야간(85) | 150(오이, 수박) 200(고추, 토마토) | 16h(12-04시, 오이, 수박) 20h(10-06시, 고추, 토마토) | 한방 1.4 | 토양수분함량 60% |

- * 광량 및 광질 측정 센서: LI-190R+LI-250(400-700nm), LI-180(380-780nm)
- * 온·습도 및 풍속 센서: 통풍 건습계(thermocouple type T) 및 ALMEMO 센서
- * 데이터로거(CR1000X 및 CR1000)에 10분/60분/1440분 간격으로 데이터를 저장함

- LEDs 광원의 광량 측정은 광원으로부터 200mm, 120mm에서 육묘 베드 내 총 312지점을 측정함
- 광원으로부터 200mm 위치에서 측정된 평균 광량값은 설정 광량에 맞게 제어되었고, 식물이 생장해 일정 크기 이상에서 위치하는 광원으로부터 120mm 위치에서는 측정된 평균 광량값이 설정 광량값보다 높았음(표34)
- 광원으로부터 거리가 가까워 질수록 광량에 대한 변이계수가 높아지는 것(표34)을 통해 식물이 생장할수록 광 균일도가 떨어진다는 것을 알 수 있음

표34. 1차 현장실증 LEDs 광원 설정 광량 및 거리에 따른 실측 광량

| 설정 광량($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) | 광원으로부터 200mm(트레이 위) | | 광원으로부터 120mm(식물체 높이) | |
|--------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|-------------|------------------------------------------------------------------|-------------|
| | 평균 광량 ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) | 변이계수 (%) | 평균 광량 ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) | 변이계수 (%) |
| 150 | 156 | 15.9 | 196 | 29.7 |
| 200 | 202 | 15.6 | 245 | 27.5 |

- **광량 환경 프로파일링 결과**, 트레이 위에서는 광 분포 균일도가 높아 보일 수 있으나, 식물이 생장함에 따라 광 분포 균일도가 떨어져 생장이 불균일해질 것으로 판단됨
- * 육묘일수가 길수록 식물체 생장이 더 균일하지 못할 것으로 판단됨
- **기온 환경 프로파일링 결과**, 주, 야간 모듈 단별 최대 차이는 0.7°C, 1.1°C이며, 편차는 0.3°C, 0.5°C로 나타남
- 모듈 1단에서 5단의 주/야간 평균 기온은 2.61/21.7°C, 26.6/21.9°C, 26.8/21.8°C, 26.1/21.1°C, 26.2/20.8°C로 나타남(그림27)
- * 상대습도는 통풍건습계 성능이 떨어져 1차 현장실증에서는 수집하지 못함(2차 현장 실증 데이터 참조)

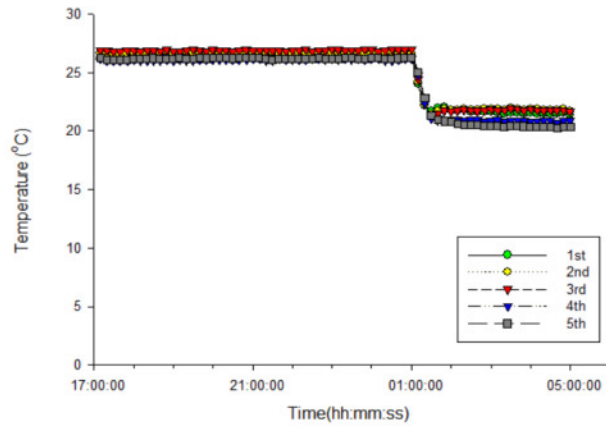


그림27. 1차 현장실증 식물공장형육묘시스템 내 기온 변화

- 관수 환경 프로파일링 결과, 설정한 관수 시작 시간 및 지속 시간에 맞추어 관수 되는 것을 확인하였으며, 관수 지속 시간을 0분으로 설정하면 20초 관수 후 정지됨을 확인함
 - * 문제 현상은 여전히 나타남
- 미세기류 분포 분석을 위해 4단 모듈로 구성된 육묘실 내부 CFD 분석을 실시하였으며, CFD 벡터장(vector field)을 확인하여 기류 해석을 할 수 있음
 - 모듈 1단과 2단은 0.6m/s 이하의 풍속으로 공기 유입이 이루어지며, 다공판으로 배기됨
 - 모듈 3단은 쿨러의 공기 유입량이 적으며, 3단 내부에서 공기 순환이 이루어짐
 - 모듈 4단은 쿨러의 공기가 유입되는 양이 매우 적으며, 천장에서 순환되는 공기가 주로 유입되고, 다공판에서 역류현상이 발생함
 - 가습기에서 나온 공기는 쿨러가 발생시킨 와류에 의해 천장으로 상승하여 가습기 주변에서 순환됨
- CFD 분석 결과를 토대로 모듈 내 평균 풍속 비교를 위해 풍속 측정은 총 3지점(유니트 쿨러 아래-모듈 앞, 모듈 중앙, 모듈 안쪽 끝)에서 실시함(그림28)
 - 모듈 내 중간 지점 측정 결과, 3단에서의 평균 풍속이 $0.30 \pm 0.07 \text{m/s}$ 로 가장 빠르며, 5단에서의 평균 풍속이 $0.13 \pm 0.03 \text{m/s}$ 로 가장 느림
 - 육묘실 내부 6개 모듈 모두 각 지점의 단별 평균 풍속은 1층 및 5층이 가장 낮고, 3층이 가장 높은 경향임

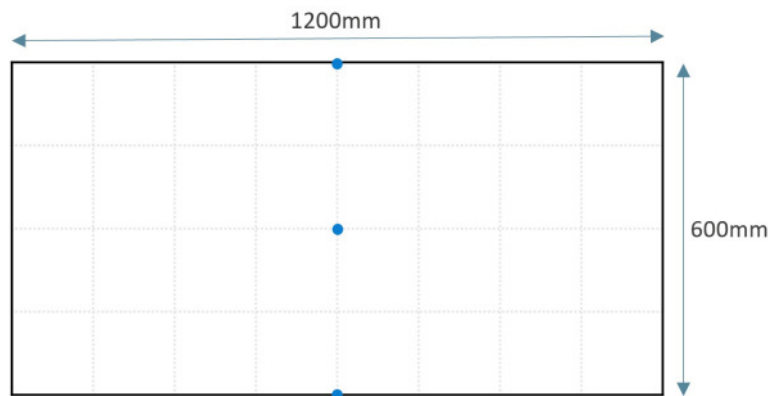


그림28. 1차 현장실증 육묘실 내부 모듈 풍속 측정지점

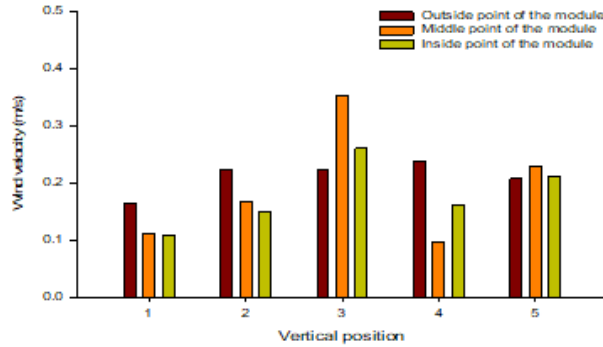


그림29. 1차 현장실증 육묘실 내부 모듈 단별 평균 풍속(모듈 앞, 모듈 중앙, 모듈 안쪽 끝)

- CFD 분석은 4단 모듈로 구성된 3D 모델을 통해 분석을 실시한 것으로 육묘 모듈 1단, 2단, 3단 및 4단에서 측정된 평균 풍속을 비교하였으며, 호반육묘장 내 식물공장형육묘 시스템은 5단 모듈로 구성되었기 때문에 CFD 결과와는 다소 차이가 있는 것으로 판단됨
 - CFD 분석 결과에 따른 1단, 2단, 4단의 평균 풍속은 각각 0.15, 0.19, 0.19m/s로 1차 현장 실증의 1단, 2단, 4단의 0.13, 0.18, 0.21m/s와 비슷하였음
 - 3단의 경우 CFD 분석에 의한 평균 풍속이 0.10m/s로 1차 현장 실증 0.30m/s보다 낮게 분석이 되었으며, 이는 CFD 모델의 유닛 컬러 위치 및 모듈 높이에 따른 차이에 의한 것으로 판단됨

표35. CFD 결과에 따른 평균 풍속 및 실측 평균 풍속 비교

| 구분 | 1단(m/s) | 2단(m/s) | 3단(m/s) | 4단(m/s) |
|----------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| CFD 결과에 따른 풍속 (평균±표준편차) | 0.15±0.03 | 0.19±0.14 | 0.10±0.07 | 0.19±0.12 |
| 실측 평균 풍속 (평균±표준편차) | 0.13±0.03 | 0.18±0.03 | 0.30±0.07 | 0.21±0.23 |

- 풍속 환경 프로파일링 결과, 육묘실 내부 위치별 균일한 기류분포가 형성되지 않아 접수 및 대목 모종의 균일성이 낮아질 것으로 판단됨

(5) 1차 현장실증 식물공장형육묘시스템을 이용한 과채류 접수 및 대목 생산

- 식물공장형육묘시스템 육묘실 내에서 생산된 과채류 접수 및 대목 모종의 성장 균일성을 파악함
 - 작물별 토양수분함량(60%에서 관수실시)에 따른 관수 시점을 조사함
 - 설정한 육묘실 내부 환경 조건하 생산된 접수 및 대목 모종의 생육을 조사함
 - 호*육묘장 관행 및 식물공장형육묘시스템을 통해 생산한 각 모종의 성장 비교를 통한 육묘 생산 기준을 확립하도록 함

표36. 1차 현장실증 식물공장형육묘시스템 내부 작물별 생육환경 조건

| 온도(℃) | 습도(%) | 광량(μmol·m ⁻² ·s ⁻¹) | 광주기(h) | 양액(ds/m) | 관수 시점 |
|--------|--------|--------------------------------------------|----------------------|-----------|--------|
| 주간(25) | 주간(70) | 150(오이, 수박) | 16h(07-23시, 오이, 수박) | TECHNIGRO | 토양수분함량 |
| 야간(20) | 야간(85) | 200(고추, 토마토) | 20h(06-02시, 고추, 토마토) | 1.5 | 60% |

- 관수 시점 조사 결과, 작물별 육묘실 내부 입고 1일차에 모두 관수 하였으며, 이후 오이 모종(접수/대목)의 경우 입고 후 각각 4/4일차, 수박 모종(접수/대목)의 경우 입고 후 각각 4/3일차에 총 1회 실시, 토마토 모종(접수/대목)의 경우 입고 후 모두 2, 4, 6, 8, 10, 11, 12일 차에 총 7회, 고추 모종(접수/대목)의 경우 입고 후 모두 2, 4, 6, 8, 10, 11, 13, 14, 15, 16일 차에 총 10회 관수를 실시함
- 오이 접수 모종 생육 조사 결과, 식물공장형시스템 생산 오이 접수 모종은 호*육묘장 관행의 오이 접수 모종에 비해 떡잎이 얇고 컸으며, 경경은 비교적 굵은 편이며, 식물공장형육묘시스템 생산 시 더 균일한 생산이 가능하였음(표37)
 - 오이 접수 모종의 경경 및 줄기 경도가 접목 가능한 정도일 때, 초장은 비교적 도장 됨
 - 식물공장형육묘시스템 생산 오이 접수 모종의 초장에 대한 변이계수는 13.6%로 관행 모종의 14.3%보다 4.9% 낮은 값으로 더 균일한 모종을 생산할 수 있었음
 - 식물공장형육묘시스템 생산 오이 접수 모종의 경경에 대한 변이계수는 9.5%로 관행 모종의 10%보다 5% 낮은 값으로 더 균일한 모종을 생산할 수 있었음
- 오이 대목 모종 생육 조사 결과, 식물공장형시스템 생산 오이 대목 모종은 호*육묘장 관행의 오이 대목 모종과 초장 및 경경 비교 시 큰 차이가 없었으나, 식물공장형육묘시스템 생산 시 더 균일한 생산이 가능하였음(표37)
 - 식물공장형육묘시스템 생산 오이 대목 모종의 초장에 대한 변이계수는 17.1%로 관행 모종의 19.7%보다 2.8% 낮은 값으로 더 균일한 초장을 가지는 모종을 생산할 수 있었음
 - 식물공장형육묘시스템 생산 오이 대목 모종의 경경에 대한 변이계수는 10.0%로 관행 모종의 11.1%보다 1.1% 낮은 값으로 더 균일한 경경을 가지는 모종을 생산할 수 있었음

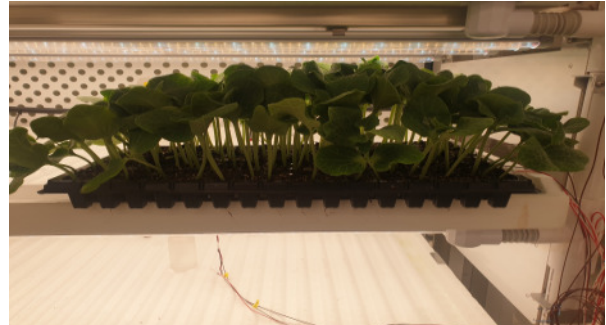
표37. 1차 현장실증 식물공장형육묘시스템 및 호*육묘장 관행 재배 오이 접수 및 대목 모종의 초장 및 경경

| 구분 | 항목 | 식물공장형육묘시스템 | | 호반육묘장 관행 | |
|----|--------|------------|---------|----------|---------|
| | | 평균 | 변이계수(%) | 평균 | 변이계수(%) |
| 접수 | 초장(cm) | 4.4a | 13.6 | 3.5b | 14.3 |
| | 경경(mm) | 2.0a | 9.5 | 1.8b | 10 |
| 대목 | 초장(cm) | 6.5a | 17.1 | 6.7a | 19.7 |
| | 경경(mm) | 2.7a | 10.0 | 2.8a | 11.1 |

- 식물공장형육묘시스템 오이 접수 및 대목 생산 시 한 트레이 내에서 작물 크기 편차에 따른 층이 짐(그림30)
 - 식물공장형육묘시스템 환경 프로파일링 결과인 광량의 수평적 분포 및 기류분포의 불균일때문인 것으로 판단됨 → 광량 수평적 분포 및 기류분포도 개선 필요



식물공장형육묘시스템 내 생산된 오이 접수



식물공장형육묘시스템 내 생산된 오이 대목

그림30. 1차 현장실증 식물공장형육묘시스템 내부 오이 접수 및 대목 모종의 불균일한 성장

- 오이 모종(접수/대목)의 성장 차이는 A(모들 앞), B(모들 중앙), C(모들 안) 3개의 구역으로 나뉘어서 나타남(그림31)
 - 구역별 초장은 접수 및 대목 모두 B, C, A순으로 길게 나타남(그림32)
 - 통계적 분석을 하였을 때, 접수의 경우 A, C 구역은 통계적 유의차가 없으나, B 구역에서는 통계적 유의차가 나타남
 - 대목의 경우 A, B, C 모두 통계적 유의차가 나타남
- * 접수 초장(A, B 및 C): 40, 67 및 47mm/plant, 대목 초장(A, B 및 C): 55, 106 및 74mm/plant

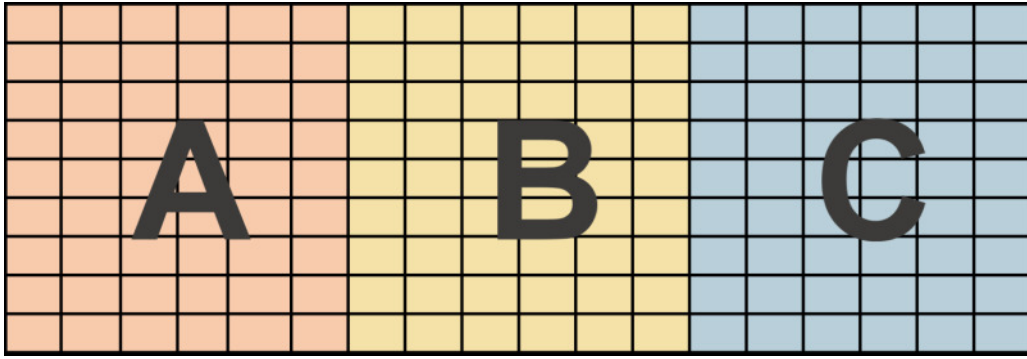


그림31. 성장 차이가 나타난 트레이 내 3개의 구역 모식도(162공 트레이 기준)

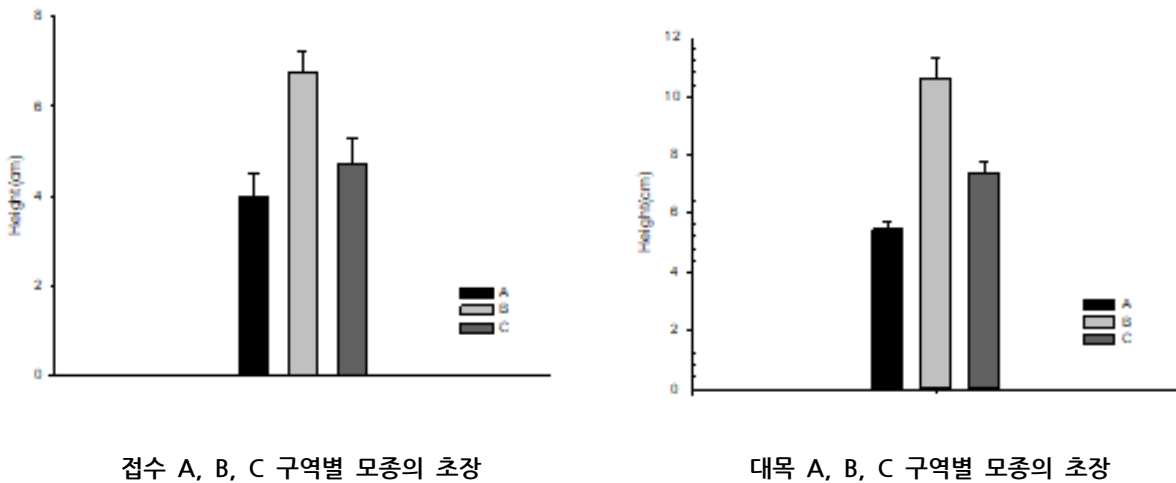


그림32 . 1차 현장실증 오이 접수 및 대목 모종의 구역별(A, B, C) 초장

- **수박 접수 모종 생육 조사 결과**, 식물공장형시스템 생산 수박 접수 모종은 호*육묘장 관행의 수박 접수 모종에 비해 도장 되고 경경은 비교적 얇은 편이었으며, 식물공장형육묘시스템 생산 시 더 균일한 경경을 가지는 모종 생산이 가능하였음(표38)
 - 식물공장형육묘시스템 생산 수박 접수 모종의 초장에 대한 변이계수는 11.8%로 관행 모종의 9.4%보다 2.4% 높았으며, 관행의 수박 접수 모종의 초장이 더 균일함을 확인함
 - 식물공장형육묘시스템 생산 수박 접수 모종의 경경에 대한 변이계수는 9.4%로 관행 모종의 18.1%보다 8.7% 낮았으며, 더 균일한 경경을 가지는 모종을 생산하는 것을 확인함
- **수박 대목 모종 생육 조사 결과**, 식물공장형시스템 육묘실 내부에서 성장한 오이 대목 모종은 호*육묘장 관행의 오이 대목 모종보다 도장 되었으나, 경경은 비교적 두꺼운 편이며, 식물공장형시스템에서 생산 시 더 균일한 초장을 가지는 모종 생산이 가능하였음(표38)

- 식물공장형육묘시스템 생산 수박 대목 모종의 초장에 대한 변이계수는 4.7%로 관행 모종의 6.1%보다 1.4% 낮았으며, 더 균일한 초장을 가지는 모종 생산을 확인함
- 식물공장형육묘시스템 생산 수박 대목 모종의 경경에 대한 변이계수는 5.2%로 관행 모종의 4.5%보다 0.7% 높았으며, 관행의 수박 대목 모종의 경경이 더 균일하였음

표38. 1차 현장실증 식물공장형육묘시스템 및 관행 재배 수박 접수 및 대목 모종의 초장 및 경경

| 구분 | 항목 | 식물공장형육묘시스템 | | 호반육묘장 관행 | |
|----|--------|------------|---------|----------|---------|
| | | 평균 | 변이계수(%) | 평균 | 변이계수(%) |
| 접수 | 초장(cm) | 6.6a | 11.8 | 3.6b | 9.4 |
| | 경경(mm) | 1.7b | 9.4 | 2.1a | 18.1 |
| 대목 | 초장(cm) | 5.3a | 4.7 | 3.6b | 6.1 |
| | 경경(mm) | 2.1a | 5.2 | 2.0a | 4.5 |

- 식물공장형육묘시스템 수박 접수 및 대목 생산 시 모두 트레이 내 작물 크기 편차에 따른 층이 지지 않으며, 오이 접수 및 대목 모종에 비해 비교적 환경에 덜 민감하여 균일한 접수/대목 생산이 가능하다고 판단됨
- 토마토 접수 모종 생산 결과, 식물공장형시스템 육묘실 내부에서 성장한 토마토 접수 모종은 줄기의 경도가 단단하지 않아 쓰러진 채 자랐으며, 경경 및 줄기 경도가 접목 가능한 정도일 때, 초장이 도장됨(그림33)
 - 생육 도중 떡잎이 다 떨어지고, 잎에 수포가 발생함
- 토마토 대목 모종 생산 결과, 식물공장형시스템 육묘실 내부에서 성장한 토마토 대목 모종 또한 생육 도중 떡잎이 다 떨어지고, 잎에 수포가 발생함(그림33)
 - * 토마토 모종들이 제대로 성장하지 못해 생육 조사를 실시하지 않음



식물공장형육묘시스템 내 생산된 토마토 대목



식물공장형육묘시스템 내 생산된 토마토 접수

그림33. 식물공장형육묘시스템 내부 토마토 접수 및 대목 모종의 성장 결과

- 식물공장형육묘시스템 토마토 접수 및 대목 생산 시 한 트레이 내에서 작물 크기 편차에 따른 층이 지는 현상이 나타났으며, 생육 도중 떡잎이 떨어지고, 잎에 수포가 발생함
 - 생장이 불균일한 것은 식물공장형육묘시스템 환경 프로파일링 결과인 광량의 수평적 분포 및 기류분포의 불균일 때문인 것으로 판단됨
 - 토마토 접수 및 대목 모종의 경우 생육 일수가 증가함에 따라 광량 및 기류 분포의 불균일의 영향을 크게 받으며(모듈 앞쪽이 빠르게 마르는 현상이 나타남), 관수 시 베드에 물

이 가득 찰 때까지 20분이 소요되어 과습이 되는 문제점 등 관수가 불균일해지는 현상이 나타남 → 광량 수평적 분포, 기류분포도 및 관수 시스템 개선 필요

- **고추 접수 및 대목 모종 생산 결과**, 식물공장형시스템 육묘실 내부에서 성장한 고추 접수 및 대목 모종은 줄기의 경도가 단단하지 않고, 경경이 얇아 접목 시기까지 도장됨
 - * 고추 모종들이 제대로 성장하지 못해 생육 조사를 실시하지 않음
- 식물공장형육묘시스템 고추 접수 및 대목 생산 시 트레이 내에서 작물 크기 편차에 따른 층이 짐
 - 생장이 불균일한 것은 식물공장형육묘시스템 환경 프로파일링 결과인 광량의 수평적 분포 및 기류분포의 불균일때문인 것으로 판단됨
 - 고추 접수 및 대목 모종의 경우 토마토와 같이 생육 일수가 증가함에 따라 광량 및 기류 분포의 불균일의 영향을 크게 받으며(모들 앞 쪽이 빠르게 마르는 현상이 나타남), 관수 시 베드에 물이 가득 찰 때까지 20분이 소요되어 과습이 되는 문제점 등 관수가 불균일해지는 현상이 나타남 → 광량 수평적 분포, 기류분포도 및 관수 시스템 개선 필요
- **식물공장형육묘시스템을 이용한 과채류 접수 및 대목 생산 결과, 문제점을 개선하여 추가 현장 실증을 할 필요가 있음**
 - 광량의 수평적 분포 균일도 제고를 위해 광학 시뮬레이션 결과로 선정된 LEDs 광원 간격 시나리오 G(표15)를 적용해야함
 - 유니트 쿨러를 2m/s이상의 풍속으로 상시 작동시켜 기류의 수직 및 수평적 분포 개선을 해야함
 - 점적단추 개수 증대를 통해 관수 시간을 단축해 과습 피해가 없도록 해야함

(6) 2차 현장실증 접수 및 대목 생산환경 프로파일링 및 성능 평가

- 1차 현장실증 실험에서 발견된 식물공장형육묘시스템의 문제점을 개선함
 - LEDs 광원 간격 시나리오G(표15)를 적용함
 - 유니트 쿨러 풍속을 2m/s이상으로 설정하여 상시 작동시킴
 - 각 모듈별 점적단추 개수를 증가시킴(4개→8개)
- 개선된 식물공장형육묘시스템 성능을 평가하기 위해 시험 대상 작물의 환경조건별 프로파일링을 실시함
 - 박과 작물(오이, 수박) 및 가지과 작물(고추, 토마토)에 설정한 환경조건은 다름(표 30)
 - 환경 프로파일링 조사 항목은 다음과 같음
 - * (광량 및 광주기) 설정 광량 및 광주기에 맞게 광환경이 조절되는지 확인
 - * (온도 및 상대습도) 설정 온도 및 상대습도로 환경이 유지되는지 확인
 - * (관수) 관수가 설정값(요일, 시간, 양)에 맞게 조절되는지 확인
 - * (풍속) 작물 생장에 필요한 미세기류 분포가 균일하게 제어되는지 확인
 - * 대상 작물: 오이, 수박, 고추, 토마토

표39. 2차 시험 대상 작물별(오이, 수박, 고추, 토마토) 설정 환경조건

| 온도(°C) | 습도(%) | 광량($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) | 광주기(h) | 양액(ds/m) | 관수 시점 |
|--------|--------|-----------------------------------------------------------|----------------------|----------|---------------|
| 주간(25) | 주간(70) | 150(오이, 수박) | 16h(12-04시, 오이, 수박) | 한방 1.4 | 토양수분함량 60% |
| 야간(20) | 야간(85) | 200(고추, 토마토) | 20h(10-06시, 고추, 토마토) | | |

- * 광량 및 광질 측정 센서: LI-190R+LI-250(400-700nm), LI-180(380-780nm)
- * 온·습도 및 풍속 센서: 통풍 건습계(thermocouple type T) 및 ALMEMO 센서
- * 데이터로거(CR1000X 및 CR1000)에 10분/60분/1440분 간격으로 데이터를 저장함

- LEDs 광원의 광량 측정은 광원으로부터 200, 120mm에서 육묘 베드 내 총 312지점을 측정함(표40,41)
 - 설정 광량이 $150\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 일 경우, 광원으로부터 200,120mm 위치에서 평균 광량값은 각각 164, $209\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 로 설정 광량보다 각각 9.3, 39.3%만큼 높았음
 - 설정 광량이 $200\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 일 경우, 광원으로부터 200,120mm 위치에서 평균 광량값은 각각 211, $261\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 로 설정 광량보다 각각 5.5, 30.5%만큼 높았음
 - 설정 광량이 $150\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 일 경우, 광원으로부터 200,120mm 위치에서 광량에 대한 변이계수는 각각 13.6, 15.9%로 1차 현장 실증 결과인 15.9, 29.7%보다 각각 14.5, 46.5% 낮았음
 - 설정 광량이 $200\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 일 경우, 광원으로부터 200,120mm 위치에서 광량에 대한 변이계수는 각각 13.2, 16.2%로 1차 현장실증 결과인 15.6, 27.5%보다 각각 2.4, 11.3% 낮았음

표40. 2차 현장실증 식물공장형육묘시스템 LEDs 광원 거리에 따른 실측 광량 비교(광원으로부터 200mm)

| 설정 광량($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) | 1차 현장실증 | | 2차 현장실증 | |
|--------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|-------------|------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| | 광원으로부터 200mm(트레이 위) 평균 광량 ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) | 변이계수 (%) | 광원으로부터 200mm(식물체 높이) 평균 광량 ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) | 변이계수 (%) |
| 150 | 156 | 15.9 | 164 | 13.6 |
| 200 | 202 | 15.6 | 211 | 13.2 |

표41. 2차 현장실증 식물공장형육묘시스템 LEDs 광원 설정 광량에 따른 실측 광량 비교(광원으로부터 120mm)

| 설정 광량($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) | 1차 현장실증 | | 2차 현장실증 | |
|--------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|-------------|------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| | 광원으로부터 120mm(트레이 위) 평균 광량 ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) | 변이계수 (%) | 광원으로부터 120mm(식물체 높이) 평균 광량 ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) | 변이계수 (%) |
| 150 | 196 | 29.7 | 209 | 15.9 |
| 200 | 245 | 27.5 | 261 | 16.2 |

- 1차 현장실증에서는 육묘 베드 중간 부분(식물체가 집중적으로 위치한 부분)에서 광량이 현저히 떨어지는 결과를 보였지만, LEDs 광원 간격 시나리오 G(표15)를 반영한 2차 현장실증에서는 개선됨(그림34)

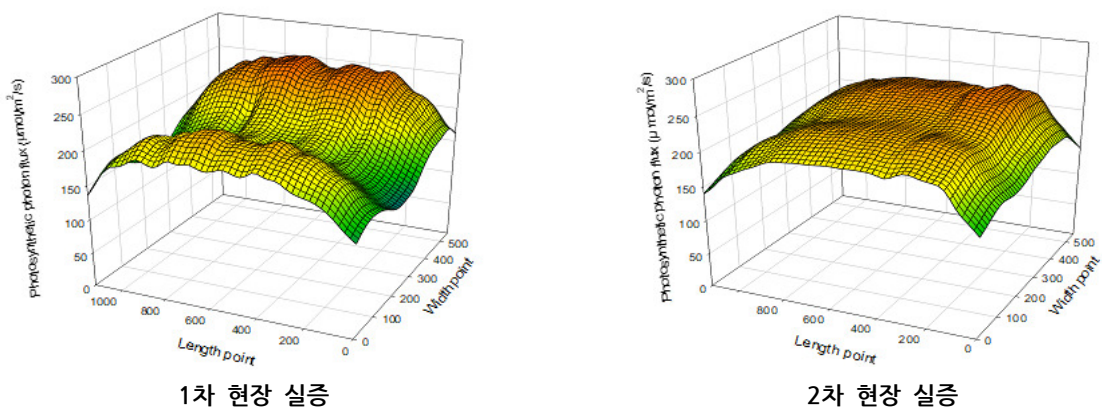
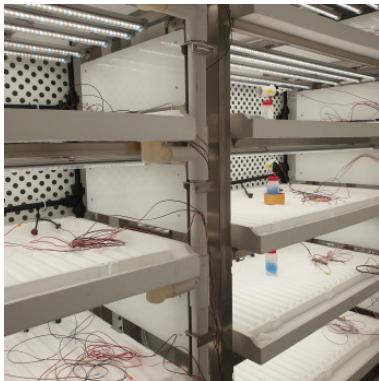


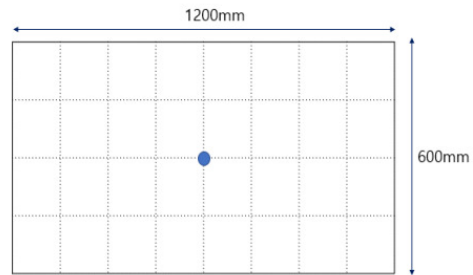
그림34. 2차 현장실증 식물공장형육묘시스템 LEDs 광원 수평적 광 분포도(광원으로부터 200mm, 설정광량 $200\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)

- 광량 환경 프로파일링 결과, 1차 현장실증 때 보다 수평적 광 균일도가 현저히 높아짐

- 육묘 일수가 길수록 식물체 생장이 더 균일하지 못할 것으로 판단되었으나, 수평적 광 균일도가 개선되어 영향이 크지 않을 것으로 판단됨
- 6개 모듈 1단에서 5단의 주, 야간 설정 기온이 일정하게 잘 유지됨(그림36)
 - 6개 모듈(A-F), 1단에서 5단의 주/야 평균 기온은 25.4/20.2℃, 25.4/20.2℃, 25.3/20.2℃, 25.5/20.3℃, 25.8/20.2℃임
- 주/야간 기온 모듈 단별 최대 차이는 2.56/1.51℃이며, 표준편차는 0.6/0.2℃로 나타남
- 기온 환경 프로파일링 결과, 모듈 위치별 주간 및 야간 기온이 설정값에 맞게 매우 정밀하게 제어됨

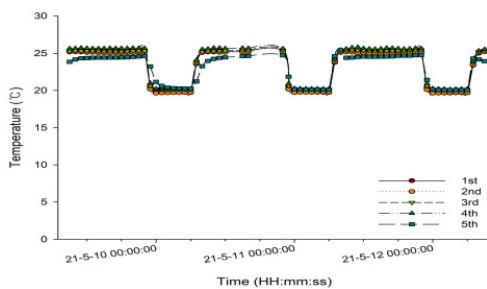


육묘 모듈 내 설치된 통풍건습계

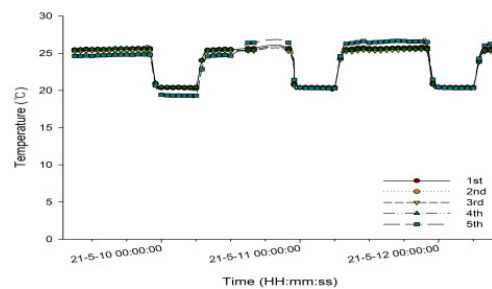


육묘 베드 내 온·습도 측정지점

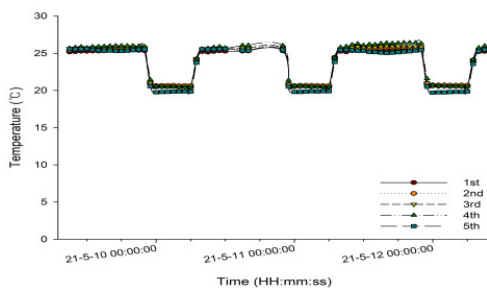
그림35. 2차 현장실증 식물공장형육묘시스템 내 환경 통풍건습계 및 온·습도 측정지점



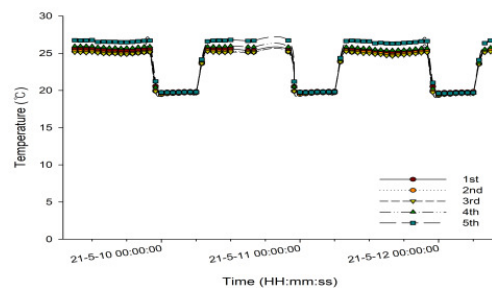
A 모듈



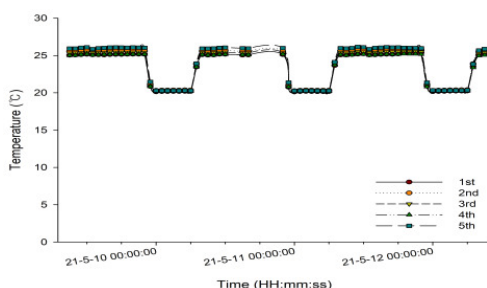
B 모듈



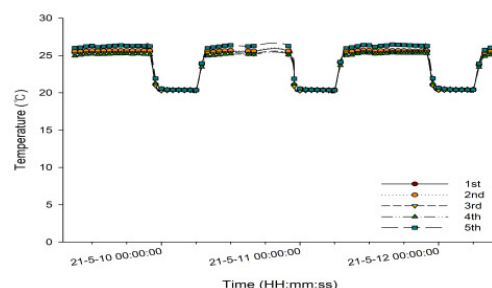
C 모듈



D 모듈



E 모듈



F 모듈

그림36. 2차 현장실증 식물공장형육묘시스템 내 기온 변화

- 6개 모듈 1단에서 5단의 주/야 설정 습도가 일정하게 잘 유지됨(그림37)
 - 6개 모듈(A-F) 1단에서 5단의 주/야 평균 상대습도는 77.7/88.8, 76.8/88.7, 78.4/89.0, 76.9/88.2, 77.0/89.1%임
- 주/야간 상대습도 모듈 단별 최대 차이는 14.8/13.7%이며, 표준편차는 2.4/2.8%로 나타남
- 상대습도 환경 프로파일링 결과, 모듈 위치별 주간 및 야간 기온이 설정값에 맞게 매우 정밀하게 제어됨

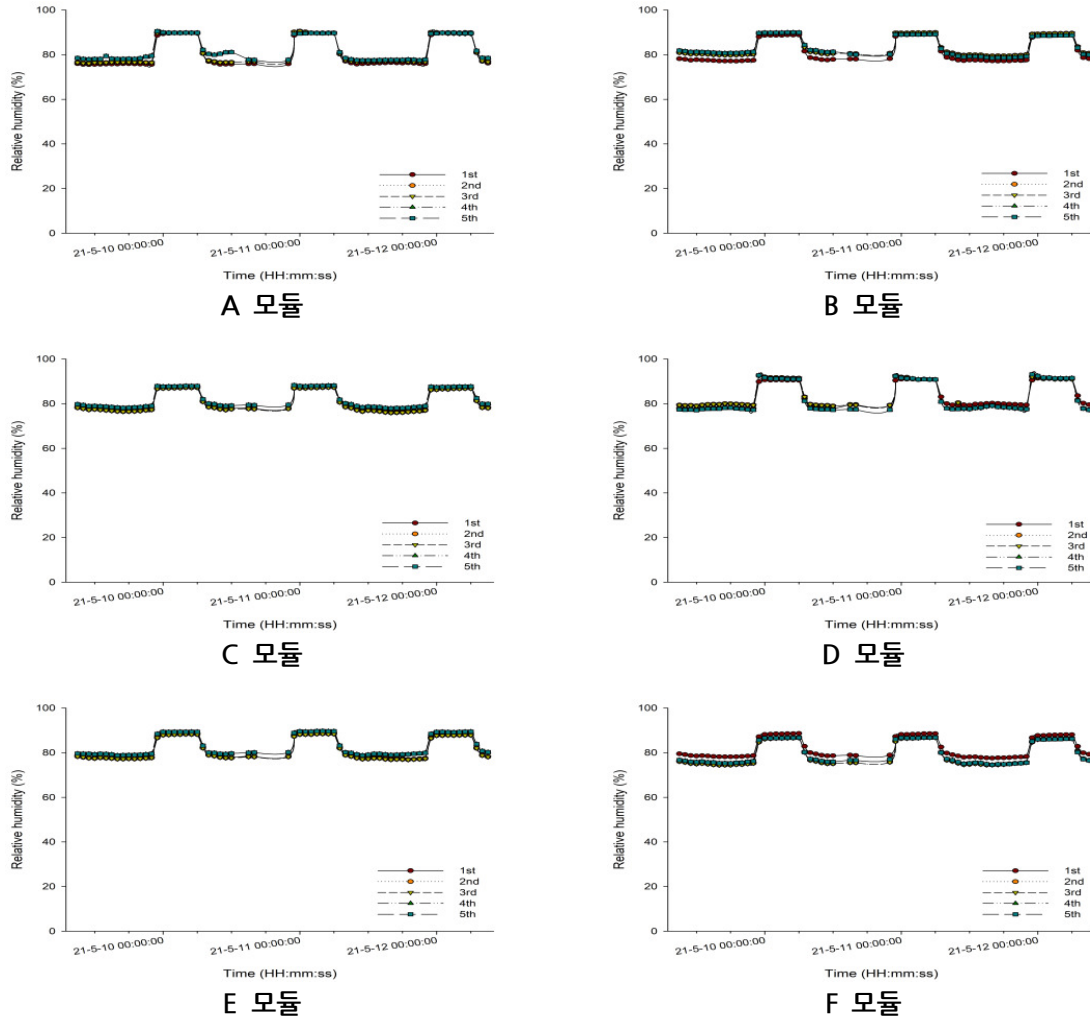
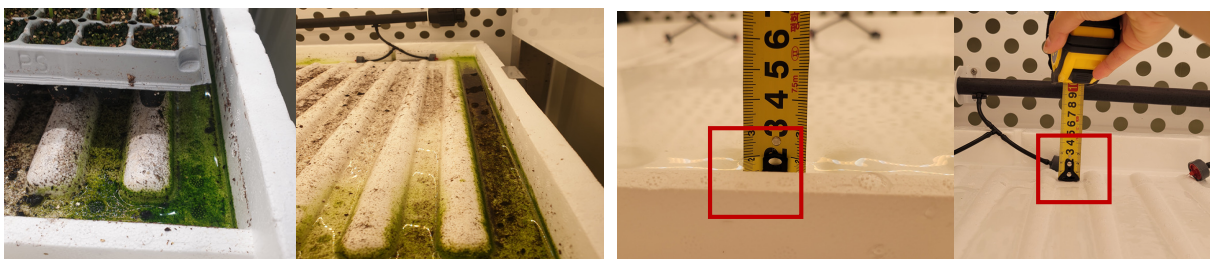


그림37. 2차 현장실증 식물공장형육묘시스템 내 상대습도 변화

- 관수 환경 프로파일링 결과, 관수 시간은 단축되었으나 1차 현장 실증과 똑같이 과습 현상이 발생하고, 배수가 제대로 이루어지지 않아 녹조현상 발생 및 스티로폼 베드의 구배가 맞지 않아 균일한 관수가 불가함(그림38)



베드 내 녹조현상 발생

스티로폼 베드 구배 차이

그림38. 관수 시 스티로폼 베드 내 나타나는 문제점

- 풍속 측정 지점은 1차 현장실증과 같이 총 3지점으로 유니트쿨러 아래-모듈 앞, 모듈 중앙, 모듈 안쪽 끝임(그림39)
 - 모듈 내 중간 지점 측정 결과 3단에서의 풍속이 $0.30 \pm 0.05 \text{m/s}$ 로 가장 빠르며, 5단에서의 풍속이 $0.24 \pm 0.05 \text{m/s}$ 로 가장 느림
 - 육묘실 내부 6개 모듈 모두 각 지점의 단별 풍속은 1층 및 5층이 가장 낮고, 3층이 가장 높은 경향임
 - 1차 현장 실증 결과인 3단 풍속 $0.30 \pm 0.07 \text{m/s}$ 로, 5단 풍속 $0.13 \pm 0.03 \text{m/s}$ 와 비교하여도 풍속의 균일도가 개선되지 못함(그림40)

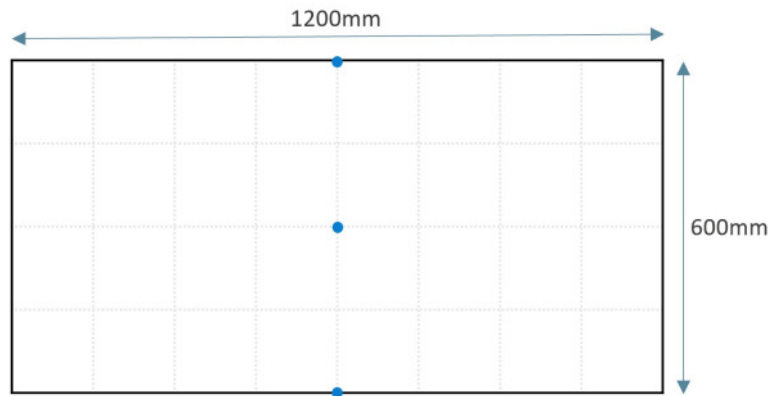


그림39. 2차 현장실증 육묘실 내부 모듈 풍속 측정지점

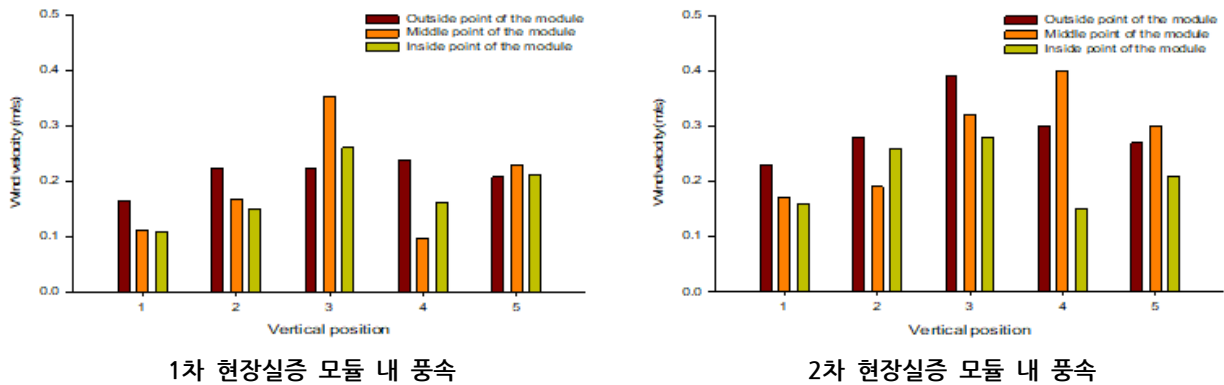


그림40. 2차 현장실증 육묘실 내부 모듈 단별 평균 풍속 비교(모듈 앞, 모듈 중앙, 모듈 안쪽 끝)

- 풍속 환경 프로파일링 결과, 1차 현장 실증과 같이 육묘실 내부 위치별 균일한 기류분포가 형성되지 않아 접수/대목 모종의 균일성이 크게 개선되지는 않을 것으로 판단됨

(7) 식물공장형육묘시스템을 이용한 과채류 접수 및 대목 생산

- 식물공장형육묘시스템 육묘실 내에서 생산된 과채류 접수/대목 성장 균일성을 파악함
 - 작물별 토양수분함량(60%에서 관수실시)에 따른 관수 시점을 조사함
 - 설정한 육묘실 내부 환경 조건하 생산된 접수 및 대목의 모종 생육을 조사함
 - 호*육묘장 관행 및 식물공장형육묘시스템을 통해 생산한 각 모종의 성장 비교를 통한 육묘 생산 기준을 확립하도록 함

- **오이 접수 모종 생육 조사 결과**, 식물공장형육묘시스템 생산 오이 접수 모종은 1차 현장 실증에 비해 떡잎이 두껍고 작으며, 경경은 비슷하였고, 호*육묘장 관행의 오이 접수 모종과 비교 시 떡잎의 크기는 비슷하며, 경경은 비교적 굵은 편임(표43)
 - 오이 접수 모종의 경경 및 줄기 경도가 접목 가능한 정도일 때, 초장은 비교적 도장 됨
 - 2차 현장실증 식물공장형육묘시스템 생산 오이 접수 모종의 초장에 대한 변이계수는 15.2%로 1차 현장 실증 및 관행의 모종의 13.6, 14.3%보다 각각 1.6, 0.9%만큼 높아 초장에 대한 균일도가 떨어졌음을 확인함
 - 2차 현장실증 식물공장형육묘시스템 생산 오이 접수 모종의 경경에 대한 변이계수는 31%로 1차 현장 실증 및 관행의 모종의 9.5, 10%보다 각각 21.5, 21% 높아 경경에 대한 균일도가 떨어졌음을 확인함
- **오이 대목 모종 생육 조사 결과**, 식물공장형육묘시스템 생산 오이 대목 모종은 1차 현장 실증에 비해 떡잎이 두껍고 작으며, 경경은 비교적 굵고, 호*육묘장 관행의 오이 대목 모종과 비교 시 떡잎의 크기는 비슷하며, 경경은 비교적 굵은 편임(표43)
 - 2차 현장실증 식물공장형육묘시스템 생산 오이 대목 모종의 초장에 대한 변이계수는 16.1%로 1차 현장실증 및 관행의 모종의 17.1, 19.7%보다 각각 1.0, 3.6%만큼 낮은 값으로 더 균일한 초장을 가지는 오이 대목 모종을 생산할 수 있었음
 - 2차 현장실증 식물공장형육묘시스템 생산 오이 대목 모종의 경경에 대한 변이계수는 6.9%로 1차 현장 실증 및 관행의 모종의 10, 11.1%보다 각각 3.1, 4.2%만큼 낮은 값으로 더 균일한 경경을 가지는 오이 대목 모종을 생산할 수 있었음

표43. 1차, 2차 현장실증 식물공장형육묘시스템 및 관행 재배 오이 접수 및 대목 모종의 초장 및 경경

| 구분 | 항목 | 1차 | | 2차 | | 호*육묘장 관행 | |
|----|--------|------------|----------|------------|----------|----------|----------|
| | | 식물공장형육묘시스템 | | 식물공장형육묘시스템 | | 호*육묘장 관행 | |
| | | 평균 | 변이계수 (%) | 평균 | 변이계수 (%) | 평균 | 변이계수 (%) |
| 접수 | 초장(cm) | 4.4b | 13.6 | 6.0a | 15.2 | 3.5c | 14.3 |
| | 경경(mm) | 2.0a | 9.5 | 2.0a | 31 | 1.8b | 10 |
| 대목 | 초장(cm) | 6.5a | 17.1 | 6.9a | 16.1 | 6.7a | 19.7 |
| | 경경(mm) | 2.7b | 10 | 3.2a | 6.9 | 2.8b | 11.1 |

- **2차 현장실증 식물공장형시스템 오이 접수 및 대목 생산 시**, 한 트레이 내에서 작물 크기 편차에 따른 층이 지지 않았으며, 접목 작목(접수 및 대목 조제)에 문제가 없어, 식물 공장형육묘시스템을 이용한 오이 접수 및 대목 생산이 가능할 것으로 판단됨(그림45)



2차 현장실증 식물공장형육묘시스템 생산 오이 접수



식물공장형육묘시스템 내 생산된 오이 접목묘

그림45. 2차 현장실증 식물공장형육묘시스템 생산 오이 접수 및 접목묘

- **수박 접수 모종 생육 조사 결과**, 식물공장형시스템 육묘실 내부에서 생장한 오이 접수 모종은 1차 현장실증에 비해 떡잎이 두껍고 작으며, 초장이 짧고, 호*육묘장 관행의 수박 접수 모종과 비교 시 떡잎의 크기는 비슷하며, 경경은 비교적 얇은 편임(표44)
 - 2차 현장실증 식물공장형육묘시스템 생산 수박 접수 모종의 초장에 대한 변이계수는 9.4%로 1차 현장실증 모종의 11.8%보다 각각 2.4%만큼 낮은 값으로 더 균일한 초장을 가지는 수박 접수 모종을 생산할 수 있었음
 - 2차 현장실증 식물공장형육묘시스템 생산 수박 접수 모종의 경경에 대한 변이계수는 9.4%로 관행의 모종의 18.1%보다 8.7%만큼 낮은 값으로 관행보다 더 균일한 경경을 가지는 수박 접수 모종을 생산할 수 있었음
 - **수박 대목 모종 생육 조사 결과**, 식물공장형육묘시스템 육묘실 내부에서 생장한 오이 대목 모종은 1차 현장실증에 비해 떡잎이 두껍고 작으며, 경경은 비교적 굵고, 호*육묘장 관행의 오이 대목 모종과 비교 시 떡잎의 크기는 비슷하며, 경경은 비교적 굵은 편임(표 44)
 - 2차 현장실증 식물공장형육묘시스템 생산 수박 대목 모종의 초장에 대한 변이계수는 4.8%로 1차 현장실증의 4.7%보다 0.1%만큼 낮았으며, 관행 모종의 6.1%보다 1.3%만큼 낮은 값으로 관행보다 더 균일한 초장을 가지는 수박 접수 모종을 생산할 수 있었음
 - 2차 현장실증 식물공장형육묘시스템 생산 수박 접수 모종의 경경에 대한 변이계수는 11.7%로 1차 현장실증 및 관행의 모종의 5.2, 4.5%보다 각각 6.5, 7.2%만큼 낮은 값으로 더 균일한 경경을 가지는 수박 접수 모종을 생산할 수 있었음
- * 수박 접수 및 대목의 모종 모두 도장하는 현상이 개선됨

표44. 1차, 2차 식물공장형육묘시스템 및 관행 재배 수박 접수 및 대목 모종의 초장 및 경경

| 구분 | 항목 | 1차 | | 2차 | | 호*육묘장 관행 | |
|----|--------|------------|----------|------------|----------|----------|----------|
| | | 식물공장형육묘시스템 | | 식물공장형육묘시스템 | | 호*육묘장 관행 | |
| | | 평균 | 변이계수 (%) | 평균 | 변이계수 (%) | 평균 | 변이계수 (%) |
| 접수 | 초장(cm) | 6.6a | 11.8 | 4.9b | 9.4 | 3.6c | 9.4 |
| | 경경(mm) | 1.7b | 9.4 | 1.8b | 9.4 | 2.1a | 18.1 |
| 대목 | 초장(cm) | 5.3a | 4.7 | 4.2b | 4.8 | 3.6c | 6.1 |
| | 경경(mm) | 2.1b | 5.2 | 2.4a | 11.7 | 2.0b | 4.5 |

- **2차 현장실증 식물공장형육묘시스템 수박 접수 및 대목 생산 시**, 한 트레이 내에서 작물 크기 편차에 따른 층이지지 않았으며, 접목 작목(접수 및 대목 조제)에 문제가 없어, 식물공장형육묘시스템을 이용한 수박 접수 및 대목 생산이 가능할 것으로 판단됨(그림46)



2차 현장실증 식물공장형육묘시스템 생산 수박 접수

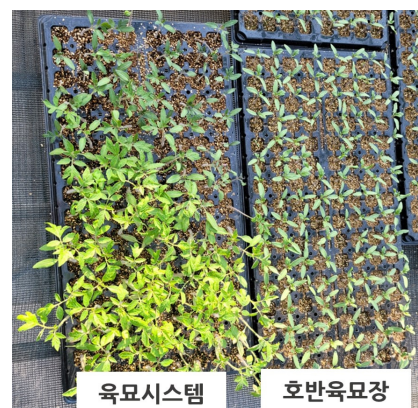
식물공장형육묘시스템 내 생산된 수박 접목묘

그림46. 2차 현장실증 식물공장형육묘시스템 생산 수박 접수 및 접목묘

- 토마토 접수 모종 생산 결과, 1차 현장 실증과 달리 식물공장형육묘시스템 육묘실 내부에서 생장한 토마토 접수 모종은 줄기의 경도가 비교적 단단해 쓰러지지 않은 채 자람
 - 경경 및 줄기 경도가 접목 가능한 정도일 때, 초장이 도장됨
 - 2차 현장 실증 식물공장형육묘시스템 생산 토마토 접수 모종의 초장에 대한 변이계수는 20.8%로 관행 모종의 21.4%보다 0.6%만큼 낮은 값으로 더 균일한 초장을 가지는 토마토 접수 모종을 생산할 수 있었음
 - 2차 현장 실증 식물공장형육묘시스템 생산 토마토 접수 모종의 경경에 대한 변이계수는 10.0%로 관행 모종의 4.8%보다 5.2%만큼 높은 값으로 관행의 토마토 접수 모종의 경경이 더 균일하였음
- 토마토 대목 모종 생산 결과, 1차 현장 실증과 달리 식물공장형시스템 육묘실 내부에서 생장한 토마토 대목 모종은 줄기의 경도가 비교적 단단해 쓰러지지 않은 채 자람
 - 경경 및 줄기 경도가 접목 가능한 정도일 때, 초장이 도장됨
 - 2차 현장 실증 식물공장형육묘시스템 생산 토마토 대목 모종의 초장에 대한 변이계수는 24.9%로 관행 모종의 11.1%보다 13.8%만큼 높은 값으로 관행의 토마토 대목 모종의 초장이 더 균일하였음
 - 2차 현장실증 식물공장형육묘시스템 생산 수박 대목 모종의 초장에 대한 변이계수는 16.3%로 관행 모종의 3.9%보다 12.4%만큼 높은 값으로 관행의 토마토 대목 모종의 경경이 더 균일하였음
- * 생육 도중 떡잎이 떨어지고 잎에 수포가 발생하는 현상은 개선되었으며, 2차 현장 실증에서는 생육 조사를 실시할 수 있었음(표45)
- 식물공장형육묘시스템 토마토 접수 및 대목 생산 시 한 트레이 내에서 작물 크기 편차에 따른 층이 지는 현상은 개선되지 않음(그림47)

표45. 2차 식물공장형육묘시스템 및 관행 재배 토마토 접수 및 대목 모종의 초장 및 경경

| 구분 | 항목 | 2차 식물공장형육묘시스템 | | 호*육묘장 관행 | |
|----|--------|---------------|----------|----------|----------|
| | | 평균 | 변이계수 (%) | 평균 | 변이계수 (%) |
| 접수 | 초장(cm) | 8.0a | 20.8 | 6.6b | 21.4 |
| | 경경(mm) | 2.3a | 10.0 | 2.1a | 4.8 |
| 대목 | 초장(cm) | 9.7a | 24.9 | 7.0b | 11.1 |
| | 경경(mm) | 1.9b | 16.3 | 2.3a | 3.9 |



2차 현장실증 식물공장형육묘시스템 생산 토마토 대목

식물공장형육묘시스템 및 관행 재배 토마토 대목

그림47. 2차 현장실증 식물공장형육묘시스템 생산 토마토 대목

- 편차가 나타남에 따라 트레이를 6구역으로 나누어 추가 생육조사를 실시함(그림48)
 - 토마토 접수 평균 초장(A-F)은 5.8, 6.9, 9.3, 9.5, 7.9cm/plant로 나타남
 - 토마토 대목 평균 초장(A-F)은 5.7, 8.6, 10.7, 11.4, 12.2, 9.6cm/plant로 나타남

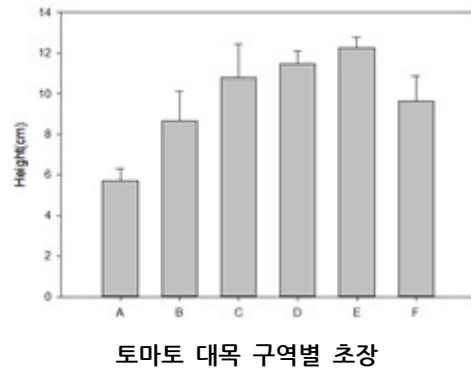
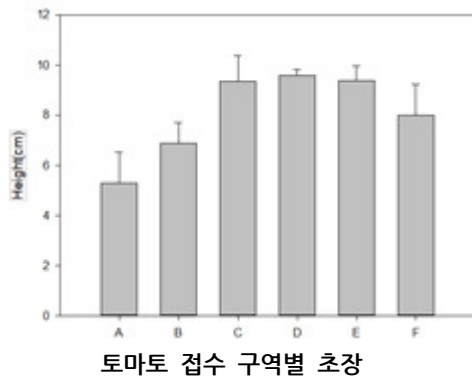
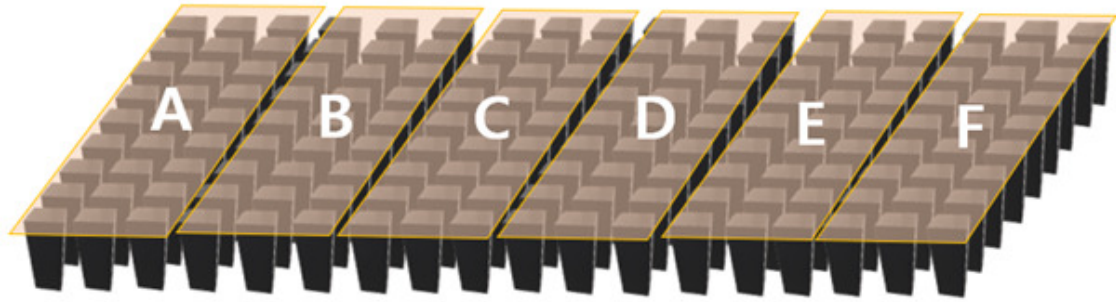


그림48. 트레이 6구역(A, B, C, D, E, F) 및 토마토 모종(접수/대목)의 구역별 초장

- 식물공장형육묘시스템 토마토 접수 및 대목 생산 시 한 트레이 내에서 작물 크기 편차에 따른 층이 지는 현상이 개선되지 않았지만, 생육 도중 잎이 떨어지고 잎에 수포가 발생하는 현상은 개선되어 접목 작목에는 문제가 없었음
 - 수평적 광 균일도는 개선되어 성장 차이가 1차 현장 실증보다는 작으나, 기류 분포 및 관수 불균일의 영향이 지속 되었기 때문이라 판단됨
 - 기류 분포 및 관수 시스템을 인위적으로 개선(트레이를 하루 간격으로 돌려줌)하여 생산한 경우, 균일하게 성장하는 현상을 볼 수 있음(그림49)



트레이를 돌려주지 않은 토마토 대목



트레이를 돌려준 토마토 대목

그림49. 트레이를 인위적으로 돌려주어 생산한 토마토 대목 비교

- 2차 현장 실증 식물공장형육묘시스템 생산된 토마토 접목묘의 생육을 관찰한 결과 접목 후 24일차 8번째 마디에서 1화방 1번화가 개화(그림50)되었으며, 식물공장형육묘시스템을 이용한 토마토 접수 및 대목 생산이 가능할 것으로 판단됨



그림50. 식물공장형육묘시스템 생산 토마토 접목묘 화방

- 균일한 토마토 모종(접수/대목) 생산을 위해 기류 분포 및 관수 시스템을 인위적으로 개선한 효과를 반영하여 경북대학교 향온항습실에서 추가적인 토마토 모종(접수/대목) 생산을 실시함(그림51)
 - 경북대학교 향온항습실에서는 균일한 기류 형성을 위해 블로어(Blower) 시스템을(그림51)을 적용하였으며, 관수 개선을 위해 기존 스티로폼 베드를 PVC베드로 적용함
 - 블로어(Blower) 시스템은 재배상의 식물체에 일정 기류가 형성되도록 안쪽으로 바람을 흡입하는 시스템으로 형성될 수 있음

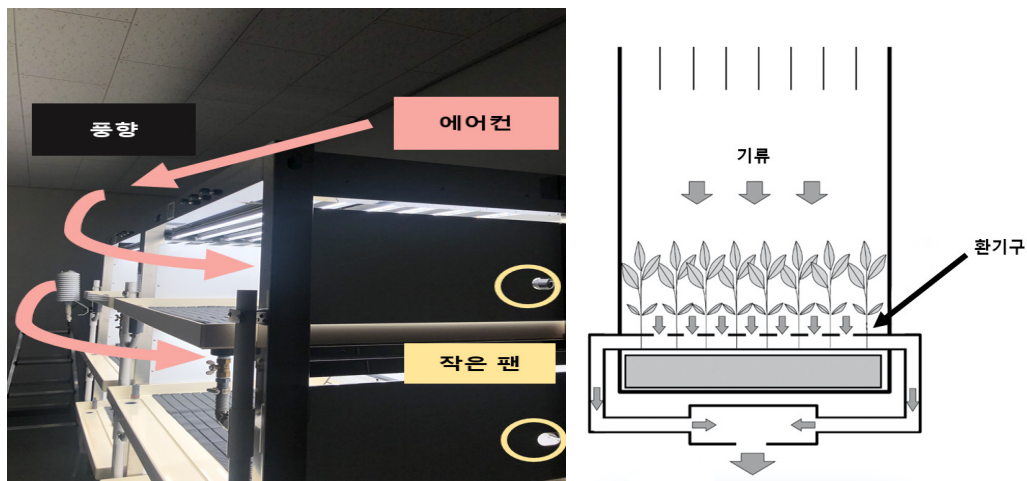


그림51. 경북대학교 향온항습실 내 블로어(Blower) 시스템을 통한 모듈 내 균일한 미세기류 형성

- **경북대학교 향온항습실 토마토 접수 및 대목 생산 결과** 토마토 모종(접수/대목)의 편차(표46)가 비교적 작게 나타났으며, 균일한 관수 및 기류 개선으로 인하여 더욱 균일한 토마토 모종(접수/대목) 생산이 가능할 것으로 판단함
 - 경북대학교 향온항습실 생산 토마토 접수 모종의 초장에 대한 변이계수는 12.9%로 2차 현장 실증 및 관행 모종의 20.8, 21.4%보다 8.1, 8.5%만큼 낮은 값으로 더 균일한 토마토 접수 모종을 생산할 수 있었음

- 경북대학교 향온항습실 생산 토마토 접수 모종의 경경에 대한 변이계수는 7.9%로 2차 현장실증 모종의 10.0%보다 2.1%만큼 낮았으며, 관행 모종의 4.8%보다 3.1%만큼 높은 값으로 1차 현장실증 보다 더 균일한 생산이 가능했음
- 경북대학교 향온항습실 생산 토마토 대목 모종의 초장에 대한 변이계수는 10.6%로 2차 현장실증 및 관행 모종의 24.9, 11.1%보다 14.3, 0.5%만큼 낮은 값으로 더 균일한 토마토 대목 모종을 생산할 수 있었음
- 경북대학교 향온항습실 생산 토마토 대목 모종의 경경에 대한 변이계수는 7.2%로 2차 현장실증 모종의 16.3%보다 9.1%만큼 낮았으며, 관행 모종의 3.9%보다 3.2%만큼 높은 값으로 1차 현장실증 보다 더 균일한 생산이 가능했음

표46. 경북대학교 향온항습실 토마토 접수 및 대목 모종의 초장 및 경경 비교

| 구분 | 항목 | 경북대학교 향온항습실 | | 2차 식물공장형육묘시스템 | | 호*육묘장 관행 | |
|----|--------|----------------|-------------|------------------|-------------|----------|-------------|
| | | 평균 | 변이계수 (%) | 평균 | 변이계수 (%) | 평균 | 변이계수 (%) |
| 접수 | 초장(cm) | 7.0ab | 12.9 | 8.0a | 20.8 | 6.6b | 21.4 |
| | 경경(mm) | 1.9b | 7.9 | 2.3a | 10 | 2.1a | 4.8 |
| 대목 | 초장(cm) | 6.7b | 10.6 | 9.7a | 24.9 | 7.0b | 11.1 |
| | 경경(mm) | 1.8c | 7.2 | 1.9b | 16.3 | 2.3a | 3.9 |



경북대학교 향온항습실 토마토 접수



경북대학교 향온항습실 토마토 대목

그림52. 경북대학교 향온항습실 생산 토마토 접수 및 대목

- **고추 접수 및 대목 모종 생산 결과**, 1차 현장 실증과 달리 식물공장형육묘시스템 육묘실 내부에서 성장한 고추 접수 및 대목 모종은 줄기의 경도가 단단했으나, 전문가 의견에 따라 경경이 비교적 얇은 것으로 판단되며, 초장이 도장하는 현상이 개선됨
- 2차 현장 실증 식물공장형육묘시스템 생산 고추 접수 모종의 초장 및 경경에 대한 변이계수는 각각 12.6, 6.5%로 비교적 균일하였음
- 2차 현장 실증 식물공장형육묘시스템 생산 고추 대목 모종의 초장 및 경경에 대한 변이계수는 각각 18.4, 9.4%로 비교적 균일하였음
- * 2차 현장 실증에서는 생육 조사를 할 수 있었으나, 출하 시기가 지나 관행 묘는 조사하지 못함

표47. 2차 식물공장형육묘시스템 고추 접수 및 대목 모종의 초장 및 경경

| 구분 | 항목 | 2차 식물공장형육묘시스템 | |
|----|--------|------------------|---------|
| | | 평균 | 변이계수(%) |
| 접수 | 초장(cm) | 4.6 | 12.6 |
| | 경경(mm) | 1.7 | 6.5 |
| 대목 | 초장(cm) | 7.7 | 18.4 |
| | 경경(mm) | 1.7 | 9.4 |

- 2차 현장실증 식물공장형육묘시스템 고추 접수 및 대목 생산 시, 한 트레이 내에서 작물 크기 편차에 따른 층이지지 않았으며, 접목 작목(접수 및 대목 조제)에 문제가 없어, 식물공장형육묘시스템을 이용한 수박 접수 및 대목 생산이 가능할 것으로 판단됨(그림53)



그림53. 2차 현장실증 식물공장형육묘시스템 생산 고추 모종

- 식물공장형육묘시스템을 이용한 균일한 과채류 접수 및 대목 생산이 가능하였으며, 추후 접목 후 활착 기간 및 2차 육묘의 접목묘 생산기준을 확립할 필요가 있음

3) 식물공장형육묘시스템 운영관리 메뉴얼 작성

(I) 식물공장형육묘시스템 운영관리

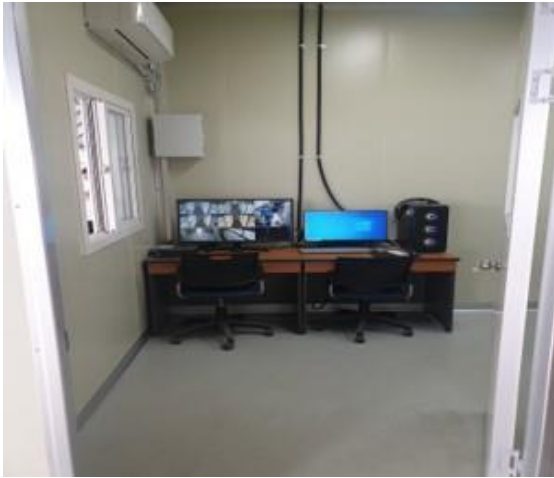
- 식물공장형육묘시스템 개요(그림54)
 - (육묘실) 총 4개의 구역으로 분리되고, 크기는 4,525mm×3,037mm(가로×세로) 규격으로 구성되었으며, 각 4개의 구역에 각각의 다른 작물들을 다양한 환경조건에서 육묘할 수 있도록 설계되었음
 - (준비실) 준비실은 2개의 구역으로 분리하여 양액·냉각수 탱크가 각각 2개씩 설치되어 있으며, 각 육묘실에 대한 정밀 관수 제어 시스템(급액 빈도 및 급액량)을 구축하였음
 - (관리실) 식물공장형육묘시스템 내 관리용 CCTV 8개를 설치하여 실시간 모니터링을 통하여 문제 발생 시 즉각적인 대처가 가능한 시스템을 구축함
 - (전실) 외부로 인한 공기 유입을 차단하여 식물공장형육묘시스템 내 설정 범위의 환경조건 변화를 최소화하고, 흙 및 먼지 등 육묘실 내 외부 오염물질을 방지하도록 설계됨



육묘실



준비실



관리실



전실

그림54. 식물공장형육묘시스템 시스템 개요

○ 식물공장형육묘시스템 육묘실 평면도(그림55)

- 총 6개로 분리된 고정식 육묘모듈로 설계되었으며, 모듈 내 습도는 가습기를 통해 시스템 내부 습도가 육묘의 생육에 적정 범위의 습도 범위에서 제어됨
- 육묘실 내 기류 형성 및 온·습도 조절은 육묘실 중앙에 유닛 쿨러를 설치하여 균일한 환경 조성을 할 수 있도록 설치되었음

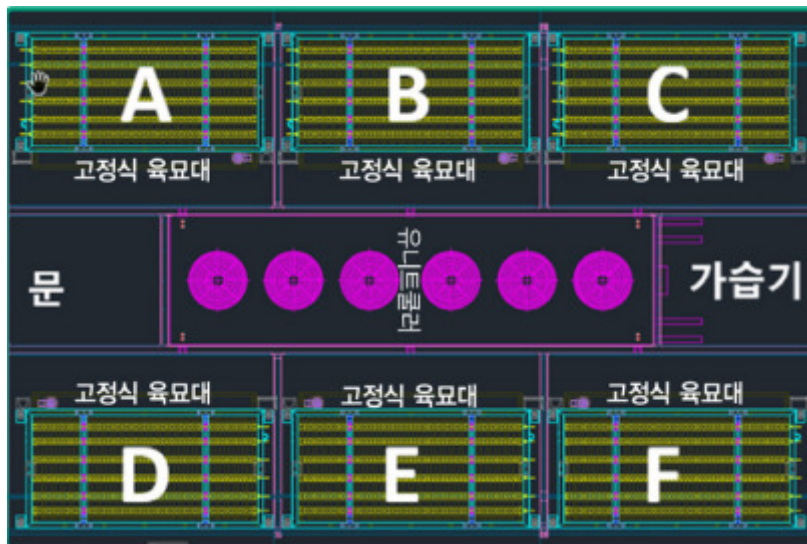


그림55. 식물공장형육묘시스템 육묘실 평면도

○ 식물공장형육묘시스템 육묘실(그림56)

- 육묘모듈은 총 6개로 배치되었으며, 총 5단으로 구성되어 높이 별 균일한 육묘의 생산을 할 수 있도록 설계되었음
- 급액 공급은 육묘 성장에 필요한 양액을 조성하여 EC 및 pH를 조절하여 저면관수 방식으로 급액이 공급되며, 배액은 순환식이 아닌 비순환식 방식임
- 육묘실 내 균일한 환경조건을 제공할 수 있어, 재배자의 선택에 따라 박과 및 가지과 육묘를 동시에 재배할 수 있는 장점이 있음
- 모듈 내 육묘 재배랙 규격은 1,225×745×80mm(가로×세로×높이)로 구성되어 각 단 마다 총 4개의 트레이가 배치될 수 있도록 설계됨



그림56. 식물공장형육묘시스템 육묘실 내부

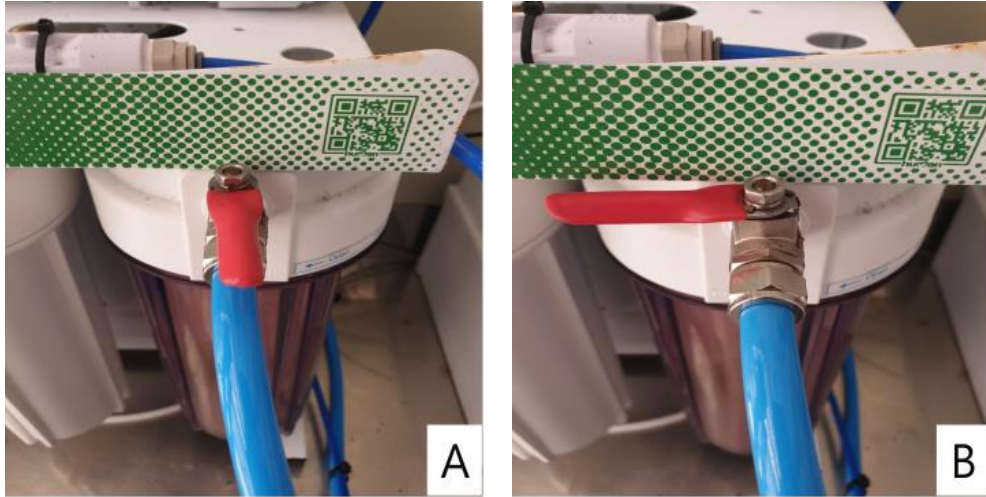
○ 식물공장형육묘시스템 육묘실 온·습도 제어(그림57)

- 육묘실 내 가습기는 총 2개, 가습기 필터는 총 3개로 구성됨
- 설치된 가습기는 육묘실 내부 통로를 향하게 조절 → 위쪽으로 향하게 방향을 조절해준 뒤 내부 순환을 유도하여 육묘 성장의 적정 습도를 유지할 수 있도록 조절 가능함
- 온·습도 센서는 육묘실 내부 안쪽 벽면 중에 위치함



그림57. 식물공장형육묘시스템 내부 가습기, 가습기 필터 및 온·습도 센서

- 육묘실 내 가습기 조절은 설치된 볼 밸브 각도를 조절하여 물 공급 조절이 가능하도록 설계됨(그림58)
- 그림 A는 볼 밸브를 열어 가습기 내 수분 공급 상태를 보여주며, 그림 B는 볼 밸브를 잠구어 가습기 내 수분 공급을 중지하는 것을 의미함
- 육묘실 내 환경에 대한 지속적인 모니터링을 통해 가습기 조절을 하여 작물의 적정 습도 범위를 조성해주는 것이 중요함



가습기 내 수분 공급

가습기 내 수분 공급 중지

그림58. 가습기 필터 볼 밸브

- 기류 형성 및 온·습도 조절의 균일도를 위한 유니트 쿨러는 육묘실 내 천장에 총 6개로 설계되었음(그림59)
- 유니트 쿨러의 작동 여부는 육묘실 내부 온·습도에 따라 상시 작동하며, 재배자가 원하는 설정값에 따라 조절이 가능함
- 육묘실 내부를 청소할 수 있도록 수도관이 배치되어 있음(그림59)



유니트 쿨러



청소용 수도관

그림59. 육묘실 내부 유니트 쿨러 및 청소용 수도관

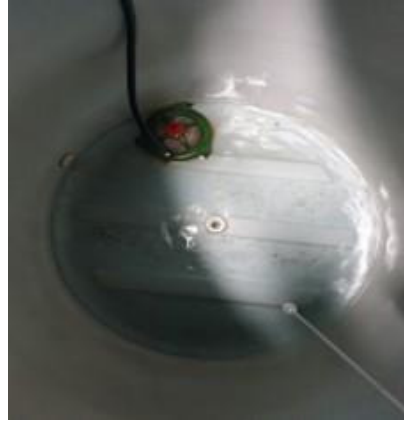
○ 식물공장형육묘시스템 준비실(그림60)

- 양액 탱크는 600L 용량으로 구성되어 있으며, 탱크 내 수위 조절은 수위 조절 센서를 통해 배양액 조성에 필요한 원수를 제어할 수 있도록 설계되었음

- 육묘실 내부온도 조절을 위한 냉각수 탱크를 설치하여 준비실 내 급액 공급 펌프로 인해 발생하는 고열에 대한 피해를 예방할 수 있음
- 양액 탱크 내부에 교반기(에어컴프레서)를 설치하여 배양액이 잘 순환될 수 있도록 하며, 배양액 탱크 하부의 양액 침전을 방지할 수 있음
- 준비실 내부에 냉각수 온도 유지를 위해 냉·난방을 위한 에어컨을 설치함



준비실 내부



양액 탱크 내 교반기



냉각수 탱크



수위조절센서

그림60. 식물공장형육묘시스템 준비실

○ 식물공장형육묘시스템 관리실(그림61)

- 총 2대의 컴퓨터로 구성(관리용 CCTV, 복합환경제어시스템 원격제어)되어 원격제어를 통해 현장에 있는 문제들을 즉각적으로 대처할 수 있는 장점이 있음
- 육묘실 내 이상 환경 발생 시 현장에 없이 원격제어 시스템을 통해 즉각적인 환경제어가 가능함
- 관리실을 통해 육묘실, 준비실, 전실, 복도 실시간 모니터링 및 녹화 가능함



유니트 쿨러



청소용 수도관

그림61. 식물공장형육묘시스템 관리실

○ 식물공장형육묘시스템 전실(그림62)

- 복합환경제어시스템은 총 4개로 구성되어 있으며 각각의 육묘실에 대한 개별 제어가 가능하도록 설계되어 작물에 대한 다양한 환경조건을 제공할 수 있음
- 복합환경제어시스템은 각 육묘실 앞에 복합환경제어시스템 및 배전함이 위치하여 사용자가 편리하게 사용할 수 있도록 위치하였음
- 전실 내부에는 냉·난방 시설을 위한 에어컨 총 1대와 외부기상 차단을 위한 에어커튼이 총 1대 설치되어 전실 내부에서의 공정작업이 가능함



전실 내부



복합환경제어시스템



에어커튼



배전함

그림62. 식물공장형육묘시스템 전실

○ 식물공장형육묘시스템 향온향습시스템

- 외부기상 환경(온도, 습도, 광도, 수증기압포차, CO₂, 강우, 풍속 등)에 영향을 받지 않고, 밀폐형 공간에서 인위적으로 환경(광, 온도, 습도) 조절이 가능하도록 구성된 시스템을 의미함
- 이상 기후(장마, 여름철 고온, 겨울철 저온, 한국의 여름철 고광도 조건 등)에 대비하여 공정묘에 최적의 환경조건을 제공할 수 있기 때문에 고품질 공정묘 생산이 가능함
- 향온향습시스템의 복합환경제어 요인 및 범위는 다음과 같음(그림63)



그림63. 향온향습시스템의 복합환경제어 요인 및 범위

(2) 식물공장형육묘시스템 사용법

- 식물공장형육묘시스템 사용법은 육묘준비, 육묘시스템 운용, 육묘모듈 사용법, 수확후 정리 및 청소와 같은 항목으로 나뉨(표48)

표48. 식물공장형육묘시스템 사용법

| 육묘준비 | 육묘시스템 운용 | 육묘모듈 사용법 | 수확 후 정리 및 청소 |
|--------------|-----------------------------------------------------------------------------------|----------|--------------|
| 전원켜기 |  | 육묘베드 특징 | 육묘실 정리 및 청소 |
| 원수 및 냉각수 채우기 | | 작물 배치 | 준비실 정리 및 청소 |
| 양액조제 | 기온, 습도, LEDs, 주/야간 시간제어 | 관수 방법 | 육묘시스템 전원 OFF |

○ 육묘 준비_전원 켜기(그림64)

- 배선 후 전원 “ON”
 - * 차단기별 이름표 부착을 하여 제어 요인 확인 필요
 - * 최초 가동 시 명명된 차단기는 모두 전원을 켜 이상 작동 유·무 확인
 - * 전원이 켜진 상태 이후 사용 중 불필요한 차단기 “OFF” 하여 불필요한 전력 손실 방지
- 복합환경 컨트롤러 전원 “ON”
 - * 최초 기동 시 Buzzer 울리며, Lamp 등이 켜짐
 - * Buzzer가 울린 뒤 복합환경컨트롤러 Lamp 등이 꺼질 때까지 대기
 - * Buzzer 버튼을 통해 소리 끄기 가능



그림64. 육묘 준비_전원 켜기

○ 원수 및 냉각수 채우기(그림65)

- 수도관과 연결된 볼 밸브로 원수 공급 조절이 가능함
- 볼 밸브로 냉각수 공급 조절이 가능함
- 배양액 탱크 내 일정 수위(약 200L) 이하로 떨어지면 원수 펌프의 공급이 중지되며 이는 양액 공급 펌프의 공회전 방지를 통해 압력 유지
- 배양액 탱크 내 일정 수위(약 600L) 이상이 되면 수위 센서를 통해 원수가 넘치지 않도록 공급을 차단할 수 있도록 설치함



원수 밸브



냉각수 밸브

그림65. 육묘 준비_원수 및 냉각수 채우기

○ 양액 조제(그림66)

- 양액 탱크 내 잘 용해된 무기원소를 적정량 투입하여 EC(전기용해도)를 검사함
- *복합 재배 관리 핸드북 참조
- 조성된 양액을 투입한 뒤, 볼 밸브로 에어 교반기 세기 조절하여 조성한 양액이 원수에 잘 용해될 수 있도록 조절함
- 양액 공급 펌프 전원 연결하여 제어된 범위 내 조성한 적정 배양액이 급액 될 수 있도록 함

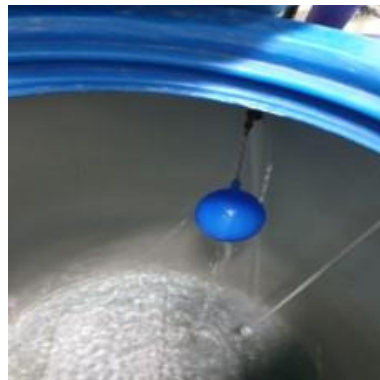


그림66. 육묘 준비_양액 조제 과정

(3) 육묘시스템 운용

○ 복합환경 컨트롤러

- 각 항목별 복합환경 컨트롤러의 기능은 표49와 같이 요약됨

표49. 복합환경 컨트롤러 항목별 기능

| 항목 | 기능 |
|------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 광량 | 운전화면의 SET-접수/대목 환경설정-작목설정 선택화면으로 들어가 원하는 작물환경을 선택하여 오른쪽 및 왼쪽 모듈의 광량 설정 가능 또는 운전화면의 수정으로 들어가 바로 설정 가능 |
| 광주기 | 운전화면의 SET-접수/대목 환경 설정-작목설정 선택화면으로 들어가 원하는 작물환경을 선택하여 주간 시작과 길이 조절을 통해 광주기 설정 가능 또는 운전화면의 수정으로 들어가 바로 설정 가능 |
| 온도 | 운전화면의 SET-접수/대목 환경 설정-작목설정선택화면으로 들어가 원하는 작물환경을 선택하여 주간 및 야간 온도 설정 가능 또는 운전화면의 수정으로 들어가 바로 설정 가능 |
| 습도 | 운전화면의 SET-접수/대목 환경설정-작목설정 선택화면으로 들어가 원하는 작물환경을 선택하여 주간 및 야간 습도 설정 가능 또는 운전화면의 수정으로 들어가 바로 설정 가능 |
| 관수 | 운전화면의 SET-접수/대목 환경설정-작목설정선택화면으로 들어가 원하는 작물 환경을 선택하여 모듈별로 관수 시작 시간 및 유지 시간 설정 가능 운전화면의 수정으로 들어가 바로 설정가능 또는 SET-시스템 설정화면에서 모듈별로 수동급수 가능 |
| 풍량 | SET 시스템 설정화면으로 들어가 환기 작동 및 환기 정지 시간을 설정 가능 |
| 배전함 | 차단기 별 이름표 참고하여 제어 가능 |
| 양액 | SET- 시스템 설정 화면으로 들어가 냉수 수위 및 양액 수위 확인 가능 |
| 펌프 | 또는 양액실에서 육안으로 확인 가능 |
| 운영 | 원하는 작목으로 설정이 된 경우 운전(RUN) 표시가 나타나며, 처음화면으로 돌아가게 되면 오른쪽 |
| 프로그램 | 하단에 해당 작목 운전이라고 메시지 표시 |
| 전원 | 시스템 기기의 ON-OFF 스위치를 이용해 작동 가능 |

- 그림67은 복합환경 컨트롤러 기본값 운전화면을 나타내며 화면에 보이는 영문의 약칭은 다음과 같음

- * PV : Procees value, 현재기온
- * SV : Set value, 설정 기온
- * LEFT/RIGHT : 왼쪽 및 오른쪽 모듈 설정 광량
- * 육묘대 급수 정지 : 육묘대 급수 상태

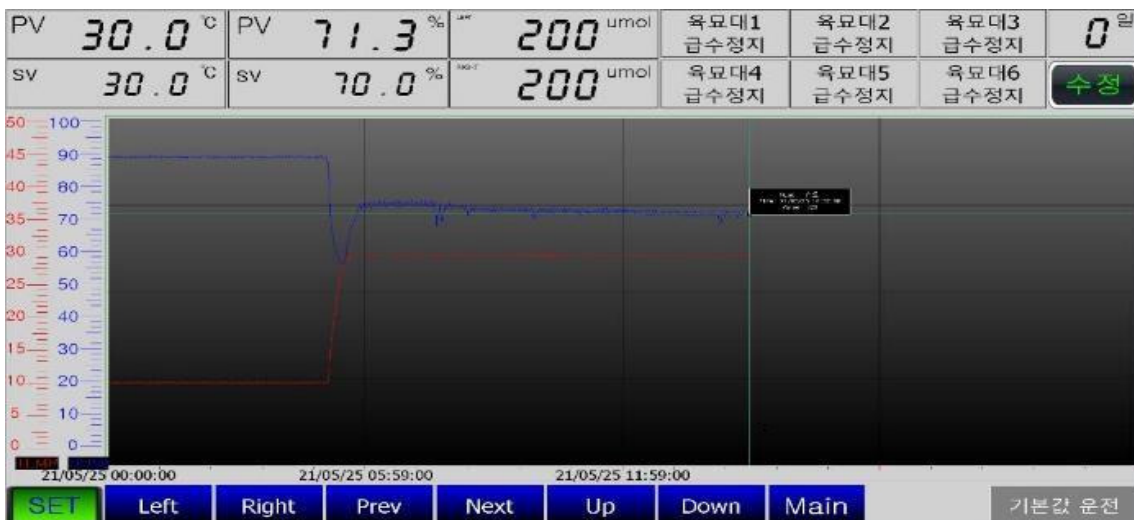


그림67. 복합 환경 컨트롤러 기본값 운전 화면

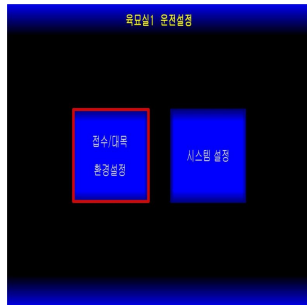
○ 기온 제어(1)

- 그림68은 복합환경 컨트롤러를 통한 기온 제어(1) 과정을 나타냄

- * 5번 기온 설정 제어에서 복합환경 컨트롤러의 기온 제어 범위는 주간 기온 15~40℃, 야간 기온 10~40℃임
- * 6번 저장 - (원하는 육묘일수 만큼)다음 화면 반복
- * 7번 '운전 RUN' 표시가 뜨면 설정 완료
- * 8번 오른쪽 하단 '기본값 운전' 설정한 작목으로 표시됨



1. 'SET'으로 이동



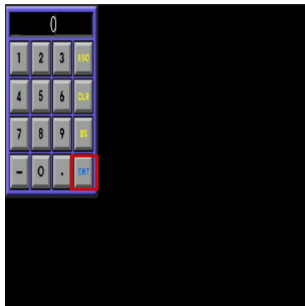
2. '접수/대목 환경설정'으로 이동



3. '기본값/작목 설정'으로 이동



4. '주간/야간 온도' 터치



5. 원하는 기온 설정 후 'ENT'



6. 저장 후 '가가기'



7. '운전화면'으로 이동



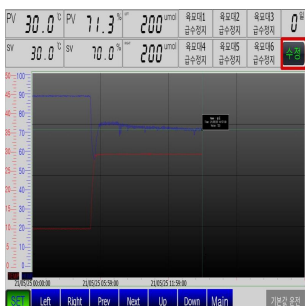
8. 메인 화면

그림68. 복합환경 컨트롤러를 통한 기온 제어 과정(1)

○ 기온 제어(2)

- 그림69는 복합환경 컨트롤러를 통한 기온 제어(2) 과정을 나타냄

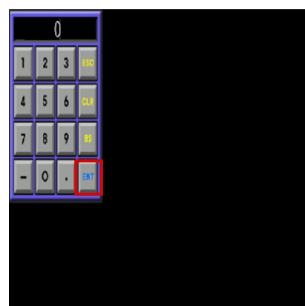
- * 3번 기온 설정 제어에서 복합환경 컨트롤러의 기온 제어 범위는 주간 기온 15~40℃, 야간 기온 10~40℃ 범위임
- * 4번 저장 - (원하는 육묘일수 만큼)다음 화면 반복



1. '수정'으로 이동



2. '주간/야간 온도' 터치



3. 원하는 기온 설정 설정 후 'ENT'



4. 저장 후 '운전화면'으로 이동

그림69. 복합환경 컨트롤러를 통한 기온 제어 과정(2)

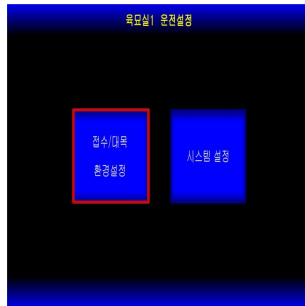
○ 습도 제어(1)

- 그림70은 모듈 내 습도 제어(1) 과정을 나타냄

- * 5번 습도 설정제어에서 복합환경 컨트롤러의 기온 제어 범위는 주간 습도 40~70%, 야간 습도 45~90% 범위임
- * 6번 저장 - (원하는 육묘 일수만큼)다음 화면 반복
- * 7번 '운전 RUN' 표시가 뜨면 설정 완료
- * 8번 오른쪽 하단 '기본값 운전' 설정한 작목으로 표시됨



1. 'SET'으로 이동



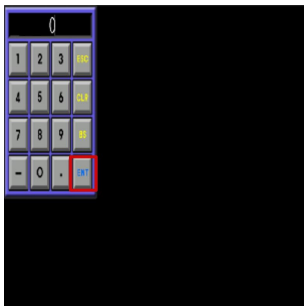
2. '습수/대목 환경설정'으로 이동



3. '기본값/작목 설정'으로 이동



4. '주간/야간 습도' 터치



5. 원하는 습도 설정 후 'ENT'



6. 저장 후 '나가기'



7. '운전화면'으로 이동



8. 메인 화면

그림70. 복합환경 컨트롤러를 통한 습도 제어 과정(1)

○ 습도 제어(2)

- 그림71은 모듈 내 습도 제어(2) 과정을 나타냄

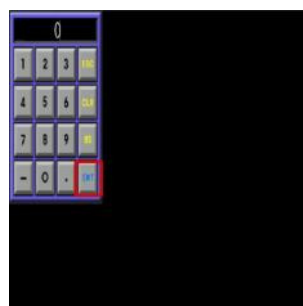
- * 3번 습도 설정제어에서 복합환경 컨트롤러의 기온 제어 범위는 주간 습도 40~70%, 야간 습도 45~90% 범위임
- * 4번 저장 - (원하는 육묘 일수만큼)다음화면 반복



1. '수정'으로 이동



2. '주간/야간 습도' 터치



3. 원하는 습도 설정 후 'ENT'



4. 저장 후 '운전화면으로 이동'

그림71. 복합환경 컨트롤러를 통한 습도 제어 과정(2)

○ LEDs ON/OFF 제어(1)

- 그림72는 모듈 내 LEDs ON/OFF 제어(1) 과정을 나타냄
- * 4번 광량 설정은 좌/우 개별 설정 가능
- * 5번 광량 설정은 5-450umol·m⁻²·s⁻¹ 범위임
- * 6번 저장 - (원하는 육묘 일수만큼) 다음화면 반복
- * 7번 '운전 RUN' 표시가 뜨면 설정 완료
- * 8번 오른쪽 하단 '기본값 운전' 설정한 작목으로 표시됨



1. 'SET'으로 이동



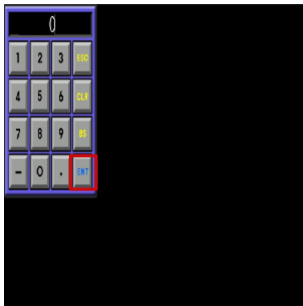
2. '접수/대목 환경설정'으로 이동



3. '기본값/작목 설정'으로 이동



4. 좌/우 광량 설정 입력란 터치



5. 원하는 광량 설정 후 'ENT'



6. 저장 후 '나가기'



7. '운전화면'으로 이동



8. 메인 화면

그림72. 복합환경 컨트롤러를 통한 LEDs ON/OFF 제어 과정(1)

○ LEDs ON/OFF 제어(2)

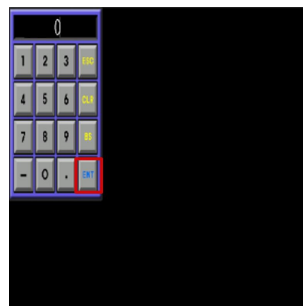
- 그림73은 모듈 내 습도 제어(2) 과정을 나타냄
- * 2번 광량 설정은 좌/우 개별 설정 가능
- * 3번 광량 설정은 5-450umol·m⁻²·s⁻¹ 범위임
- * 4번 저장 - (원하는 육묘 일수만큼) 다음화면 반복



1. '수정'으로 이동



2. 좌/우 광량 설정 입력란 터치



3. 원하는 광량 설정 후 'ENT'



4. 저장 후 '운전화면'으로 이동

그림73. 복합환경 컨트롤러를 통한 LEDs ON/OFF 제어 과정(2)

○ 광주기(주/야간) 설정(1)

- 그림74는 모듈 내 광주기(주/야간) 설정(1) 과정을 나타냄
- * 6번 저장 - (원하는 육묘 일수만큼)다음화면 반복
- * 7번 '운전 RUN' 표시가 뜨면 설정 완료
- * 8번 오른쪽 하단 '기본값 운전' 설정한 작목으로 표시됨

1. 'SET'으로 이동
2. '접수/대목 환경설정'으로 이동
3. '기본값/작목 설정'으로 이동
4. 광주기(주/야간) 설정 입력란 터치
5. 원하는 주간 길이 설정 후 'ENT'
6. 저장 후 '나가기'
7. '운전화면'으로 이동
8. 메인 화면

그림74. 복합환경 컨트롤러를 통한 광주기(주/야간) 설정 과정(1)

○ 광주기(주/야간) 설정(2)

- 그림75는 모듈 내 광주기(주/야간) 설정(2) 과정을 나타냄
- * 4번 저장 - (원하는 육묘 일수만큼)다음화면 반복

1. '수정'으로 이동
2. 광주기(주/야간) 설정 설정 입력란 터치
3. 원하는 주간 길이 설정 후 'ENT'
4. 저장 후 '운전화면'으로 이동

그림75. 복합환경 컨트롤러를 통한 광주기(주/야간) 설정 과정(2)

○ 육묘 일수 확인(그림 76)

- 메인 화면 우측 상단 위치함
- 육묘 경과 일수 확인 가능함

- 수정을 통해 차수 별 환경 설정 및 확인 가능함

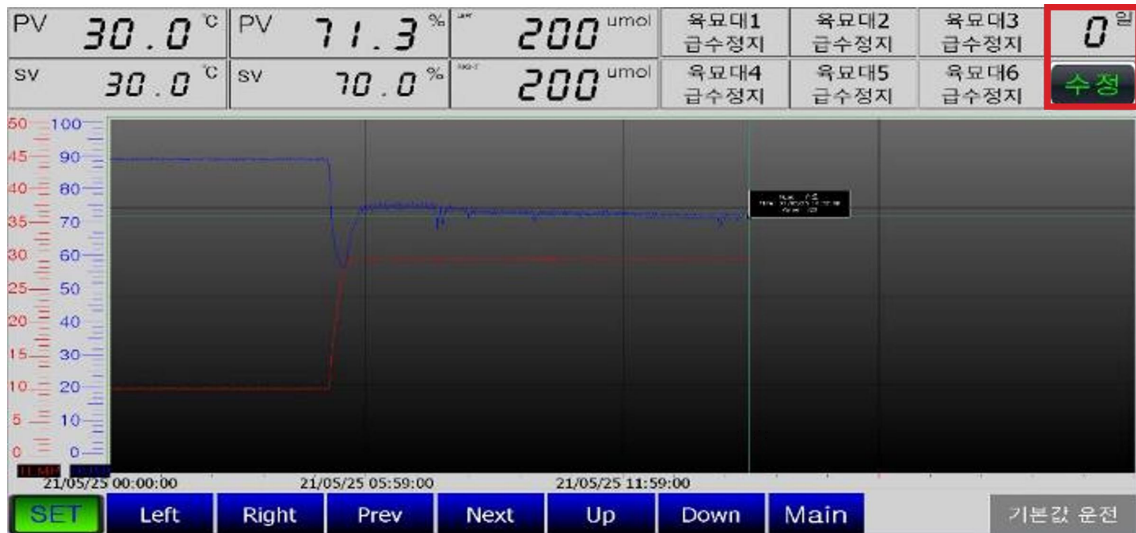


그림76. 복합환경 컨트롤러를 통한 육묘 일수 확인

○ 기온 및 습도 상태 확인(그림77)

- PV를 통해 현재 기온 및 습도 확인 가능함
- 기온 및 습도 그래프를 통해 기온 및 습도 변화율 확인 가능함



그림77. 복합환경 컨트롤러를 통한 기온 및 습도 상태 확인

(4) 육묘모듈 사용법

○ 육묘베드 특징(그림78)

- 물 이동을 위한 슬릿 가공 및 구배 존재함
- 점적버튼 총 8개로 구성됨
- 각 재배랙에 배액구가 총 3개로 구성됨
- 관수방식은 저면관수 형태임

* 작물별 관수 방식은 복합 재배 관리 핸드북 참조



그림78. 식물공장형육묘시스템 내 육묘베드

○ 작물 배치(그림79)

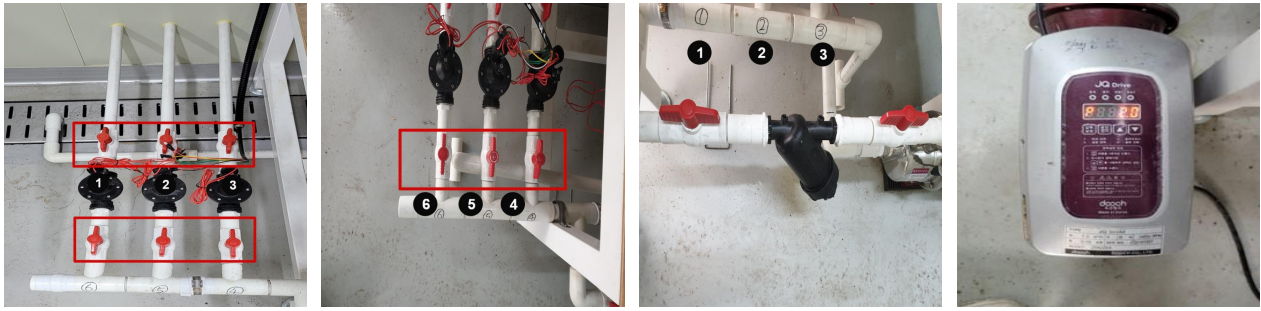
- 재배랙 1단-총 4개의 트레이 배치 가능함
- * 모듈 1대 : 4개*5단 = 20개 트레이
- * 육묘 1실 : 6대*4개*5단 = 120개 트레이



그림79. 식물공장형육묘시스템 육묘베드 내 작물배치

○ 관수 방법(양액 공급 밸브 조정)

- 그림80은 양액 공급 밸브 조정 과정을 나타냄
- * 1번 모듈 내 급액관 볼밸브를 볼 밸브의 사진과 같이 열어준 상태로 세팅(1, 2, 3번 모듈)
- * 2번 모듈 내 급액관 볼밸브를 볼 밸브 위의 사진과 같이 열어준 상태로 세팅(4, 5, 6번 모듈)
- * 4번 양액 공급 펌프를 통해 압력 조절을 하여 관수량 조절 가능



1. 모듈 급액관 확인 (1, 2, 3번)
2. 모듈 급액관 확인 (4, 5, 6번)
3. 양액 탱크 급액관 확인
4. 양액 공급 펌프 작동유무 확인

그림80. 양액 공급 밸브 조정 과정

○ 관수 방법 - 자동 관수(1)

- 그림81은 모듈 내 자동 관수 제어(1) 과정을 나타냄
- * 물마개를 1cm 공간을 띄우고 설치
- * 4번 육묘모듈 개별 설정 가능
- * 6번 저장-다음 화면 반복(원하는 육묘 일수 만큼)



1. 물마개를 1cm 공간을 띄우고 설치
2. '접수/대목 환경설정'으로 이동
3. '기본값/작목 설정'으로 이동
4. 모듈별 급수 시작/유지 시간 값 입력란 터치

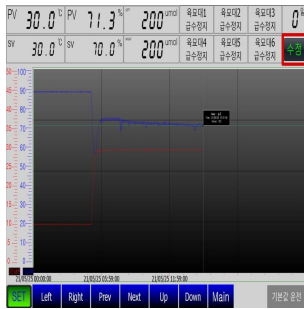


5. 급수 시작/유지 시간 설정 후 'ENT'
6. 저장 후 '나가기'
7. '운전화면'으로 이동
8. 메인 화면

그림81. 복합환경 컨트롤러를 통한 자동 관수 제어 과정(1)

○ 관수 방법 - 자동 관수(2)

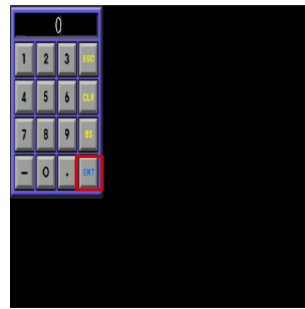
- 그림82는 모듈 내 자동 관수 제어(2) 과정을 나타냄
- * 2번 육묘모듈 개별 설정 가능
- * 4번 저장 - (원하는 육묘 일수 만큼)다음 화면 반복



1. '수정'으로 이동



2. 모듈별 금수 시작/유지 시간 값 입력란 터치



3. 금수 시작/유지 시간 설정 후 'ENT' 설정 후 'ENT'



4. 저장 후 '나가기' (Exit)

그림82. 복합환경 컨트롤러를 통한 자동 관수 제어 과정(2)

○ 관수 방법 - 수동 관수

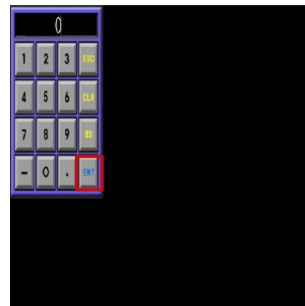
- 그림83은 모듈 내 수동 관수 제어 과정을 나타냄



1. '수정'으로 이동



2. 모듈별 금수 시작/유지 시간 값 입력란 터치



3. 금수 시작/유지 시간 설정 후 'ENT' 설정 후 'ENT'



4. 저장 후 '나가기' (Exit)

그림83. 복합환경 컨트롤러를 통한 수동 관수 제어 과정

(5) 육묘실 정리 및 청소

○ 육묘베드 및 바닥 청소(그림84)

- * 1번 고압 세척기를 이용하여 육묘베드 내 상토 및 이끼 제거한 후, 배액구 마개 정리
- * 2번 물청소 이후 주변의 수분을 와이퍼를 이용해 바닥 청소
- * 4번 충분한 건조를 통한 수분 제거를 통해 육묘실 청결 유지



1. 고압세척기 사용



2. 수도 사용



3. 가습기 받침대 청소



4. 개폐문 열어두기

그림84. 육묘베드 및 바닥 청소 과정

○ 가습기 필터 교체(그림85)

- 가습기 필터가 변색 되었을 경우 교체 필요
- * 2번 가습기 원수의 공급 볼 밸브를 위와 같이 세팅

- * 3번 필터통 분리용 스페너 사용하여 필터통을 분리함
- * 5번 좌(교체 필요한 필터) / 우(새 필터)
- * 6번 물이 새지 않도록 강하게 조립(분리용 스페너를 이용하여 너무 강하게 조립할 시 필터통 파손 위험)
- * 7번 볼 밸브 위와 같이 세팅



1. 가습기 필터 상태 확인



2. 가습기 원수 공급 밸브 잠구기



3. 필터통 분리



4. 필터 교체 및 필터통 세척



5. 새 필터로 교체



6. 필터통 조립



7. 가습기 원수 공급 밸브 열기



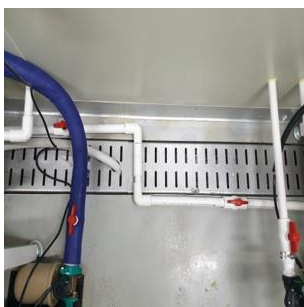
8. 가습기 방향 설정

그림85. 가습기 필터 교체 과정

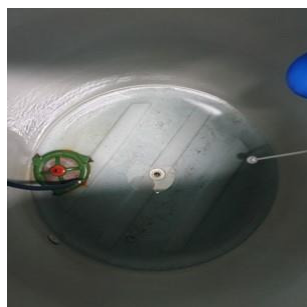
(6) 준비실 정리 및 청소

○ 양액 탱크 청소 및 바닥 청소(그림86)

- * 1번 준비실에 비치되어있는 양액 탱크를 청소하기 위해 볼 밸브 위와 같이 세팅
- * 2번 고압세척기를 이용하여 양액 탱크 내부의 이물질, 이끼 등 제거
- * 3번 청소 후 양액 탱크의 뚜껑을 분리하여 충분히 건조시킨 뒤 양액 탱크 내 수분 제거
- * 4번 양액 탱크 청소 후 바닥 청소는 고압 세척기 및 대걸레를 사용하여 청결 유지



1. 양액 탱크 배액관 열기



2. 고압 세척기를 이용한 탱크 내부 세척



3. 양액 탱크 뚜껑 분리

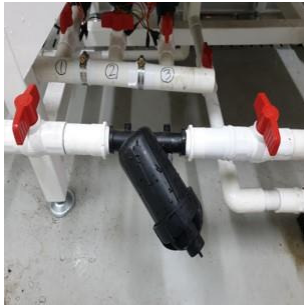


4. 바닥 청소

그림86. 양액 탱크 청소 및 바닥 청소 과정

○ 급액 디스크 필터 청소(그림87)

- * 1번 볼 밸브 위와 같이 세팅
- * 3번 이물질 제거
- * 4번 볼 밸브 위와 같이 세팅



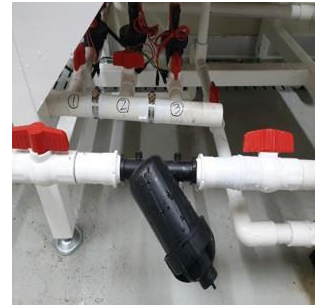
1. 디스크 필터 양 옆 밸브를 잠궈줌



2. 디스크 필터 분리



3. 디스크 필터 세척



4. 디스크 필터 조립

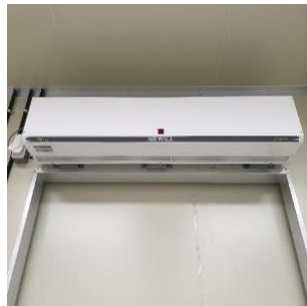
그림87. 급액 디스크 필터 청소 과정

(7) 전실 정리 및 식물공장형육묘시스템 OFF (그림88)

○ 고압 세척기 및 대걸레를 사용하여 전실 바닥 청소



1. 전실 바닥 청소



2. 에어컨 전원 OFF



3. 복합환경 컨트롤러 전원 OFF



4. 배전함 누전차단기 OFF

그림88. 전실 정리 및 육묘시스템 OFF 과정

(8) 시스템 이상작동 대처요령

○ LEDs 관련 이상작동 대처요령

- LED가 켜지지 않을 때 대처요령 : 육묘모듈 위 차단기 확인, 배전함 누전 차단기 확인, 복합 환경 컨트롤러 내 광주기 설정값 확인, 시스템 내 누전 확인을 통한 LED 고장 유무 확인
- LED가 꺼지지 않을 때 대처요령 : 광주기 설정값 확인
- LED가 깜빡일 때 대처요령 : 베드당 1-2개가 깜빡이면 LED 고장, 한 베드 이상 깜빡일 시 전력량 부족

* 육묘실 전기 공급 상황 지속적인 모니터링 필요

- 1단 베드 내 LED 절반이 켜지지 않을 때 대처요령 : 배전함 누전 차단기 확인, LED 상단 SMPS 고장 여부 파악 필요, 복합환경 컨트롤러 내 광주기 설정값 확인, 시스템 내 누전 확인을 통한 LED 고장 유무 확인

○ 기온, 습도, 양액 관련 이상작동 대처 요령

- 기온 5℃ 이상 편차가 있을 때 대처요령 : 컨트롤패널 설정값 변경 여부 파악, 유니트 쿨러 고장 여부 확인, 유니트 쿨러 전원 확인
- * 배전반 및 컨트롤패널 내 누전차단기 지속적인 모니터링 필요
- 습도 10%이상 편차가 있을 때 대처요령 : 컨트롤패널 설정값 변경 여부 파악, 유니트 쿨러 고장 여부 확인, 유니트 쿨러 전원 확인
- * 배전반 및 컨트롤 패널 내 누전 차단기 지속적인 모니터링 필요
- 작물이 시들음 현상이 있을 때 대처요령 : 양액 EC 확인, 양액 탱크 내 양액 유무 확인, 양액 공급 펌프 고장 여부 확인, 복합환경 컨트롤러 급수 시간 설정값 확인, 복합환경 컨트롤러 급수 작동 여부 확인, 미작동 디스크 필터 청소 필요, 기온 확인
- *고온에 장기간 노출 시 양액 공급량에 관계없이 시들
- 양액 탱크 내 양액이 없을 때 대처요령 : 원수 공급 및 배액 밸브 열림 확인, 양액 탱크 내 수위 조절 센서 확인, 원수 공급 볼 밸브 고장 여부 확인

4) 식물공장형육묘시스템 과채류 접수 및 대목 생산관리 매뉴얼 작성

(1) 식물공장형육묘시스템 과채류 접수 및 대목 생산관리

- 과채류 접수 및 대목 생산 가능 품목은 오이, 수박, 고추, 토마토 모종으로 육묘 모듈 규격(가로×세로×높이)은 1,357×745×2,195mm이고, 5단으로 구성되어 있으며, 육묘 베드 규격(가로×세로×높이)은 1,225×745×80mm임
- 육묘 트레이 배치 개수는 총 480개(4개 육묘 트레이×5단×6개 모듈×4실)임
- 관행 육묘의 경우, 동일 면적 내 96개 육묘 트레이 재배 가능함
- 식물공장형육묘시스템으로 육묘 재배 시, 400% 추가 생산 가능함

표50. 식물공장형육묘시스템을 이용한 접수 및 대목 생산 특징

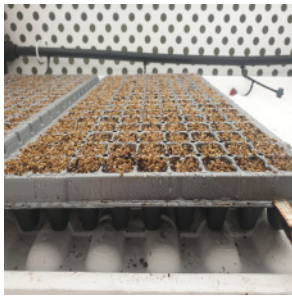
| 작목 | 트레이의 셀 수(접수/대목) | 셀 용량 (mL) | 파종시기 | 관수 일자 (수분함량 60% 시 관수) | 관수방식 | 육묘 일수 | | | |
|-----|-----------------|-----------|----------------------------------|------------------------------------------------|------|-------|------|------|-----|
| 오이 | 162 | 10-15 | 접수 및 대목 동시 파종 | 식물공장형육묘시스템 입고 후 4일 차(1회) | 저면관수 | 6일 | | | |
| | 128 | 25-40 | | | | | | | |
| 수박 | 162 | 10-15 | 접수 파종 시 대목보다 2-3일 일찍 파종 | 4일차(1회) | | 저면관수 | 6일 | | |
| | 40 | 36-72 | | | | | | | |
| 고추 | 162 | 10-15 | 접수 및 대목 동시 파종 | 2, 4, 6, 8, 10, 11, 13, 14, 15, 16일차(총 10회) | | | 저면관수 | 17일 | |
| | 128 | 25-40 | | | | | | | |
| 토마토 | 162 | 10-15 | 대목 파종 시 접수보다 1-2일 일찍 파종 | 2, 4, 6, 8, 10, 11, 12일차(총 7회) | | | | 저면관수 | 13일 |
| | 128 | 25-40 | | | | | | | |

○ 오이(접수/대목)

- 오이 접수와 대목의 경우 파종 및 관수 후 발아실로 이동하여 3일 후 식물공장형육묘시스템

에 입고한 뒤 4일 후 관수 하여 파종 후 9일 차에는 접목을 실시함(그림89)

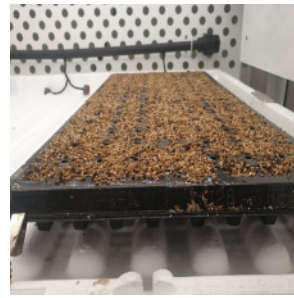
- 접수와 대목 각각 13-16일, 12-15일 후 접목하는 기존의 관행 방식에 비해 약 25-44% 가량 단축됨



접수 파종 후 3일차



접수 파종 후 9일차



대목 파종 후 3일차

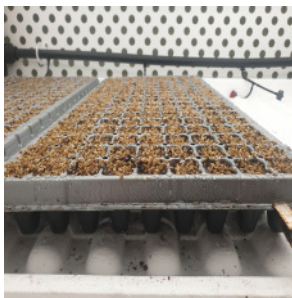


대목 파종 후 9일차

그림89. 오이 접수 및 대목 육묘일수 별 생육 상태

○ 수박(접수/대목)

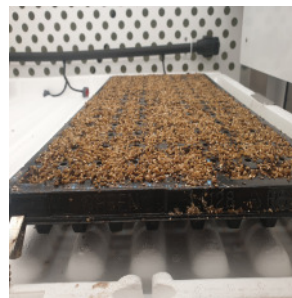
- 수박 접수와 대목의 경우 파종 및 관수 후 발아실로 이동하여 각각 3일, 4일 후 식물공장형 육묘시스템에 입고한 뒤 4일, 3일 후 관수 하여 파종 후 9일 차에는 접목을 실시함(그림90)
- 접수와 대목 각각 12-14일, 11-13일 후 접목하는 기존의 관행 방식에 비해 약 18-36% 가량 단축됨



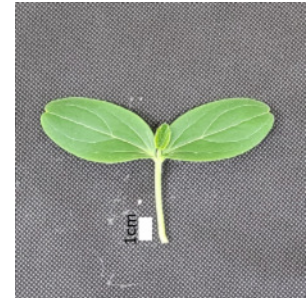
접수 파종 후 3일차



접수 파종 후 9일차



대목 파종 후 3일차

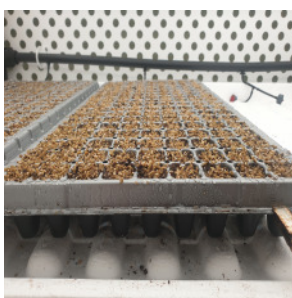


대목 파종 후 9일차

그림90. 수박 접수 및 대목 육묘일수 별 생육 상태

○ 고추(접수/대목)

- 고추 접수와 대목의 경우 파종 및 관수 후 발아실로 이동하여 5일 후 식물공장형육묘시스템에 입고한 뒤 2일 간격으로 관수하여 파종 후 22일 차에는 접목을 실시함(그림91)
- 접수와 대목 각각 30-43일, 29-42일 후 접목하는 기존의 관행 방식에 비해 약 24-50% 가량 단축됨



접수 파종 후 3일차



접수 파종 후 9일차



대목 파종 후 3일차

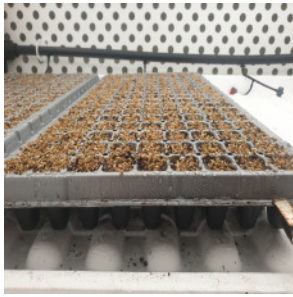


대목 파종 후 9일차

그림91. 고추 접수 및 대목 육묘일수 별 생육 상태

○ 토마토(접수/대목)

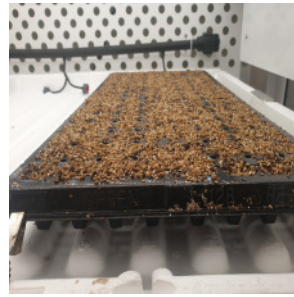
- 토마토 접수와 대목의 경우 파종 및 관수 후 발아실로 이동하여 4일 후 식물공장형육묘시스템에 입고한 뒤 2일 간격으로 관수 하여 파종 후 19일 차에는 접목을 실시함(그림92)
- 이는 접수와 대목 각각 20-35일, 19-33일 후 접목하는 기존의 관행 방식에 비해 약 0-46% 가량 단축됨



접수 파종 후 3일차



접수 파종 후 9일차



대목 파종 후 3일차



대목 파종 후 9일차

그림92. 토마토 접수 및 대목 육묘일수 별 생육 상태

○ 과채류 접목묘생산을 위한 접수/대목 육묘 시 제안점

- 과채류 종자 품종마다 생육 일수 및 환경이 다르기 때문에, 본 매뉴얼에서 제시하는 품종 및 환경조건(온도, 광량, EC 농도 등)을 준수하여야 안정된 묘 생산이 가능함
- 가지과 채소의 경우 인공광 조건 하 재배 시 생리장해가 발생할 수 있으므로 본 매뉴얼에서 제시하는 재배 방법을 잘 숙지하여 생산하여야 튼실한 묘 생산이 가능함
- 매뉴얼에서 제시하지 않은 과채류(종자)의 경우 각 육묘장에서 재배 가능한 작물 및 품종을 시험 재배 및 검토하여야 안정적인 생산이 가능할 것으로 예상됨

(2) 과채류 접수/대목 육묘 자재

○ 과채류 접수/대목 육묘 자재의 구분

- 오이 접수 품종에만 조은백다다기, 청춘, 베테랑 등 종자의 경우 작물의 접수 및 대목별로 품종이 많으므로 잘 구분하는 것이 좋음
- 상토의 경우 육묘용, 정식용, 유기농, 종이포트형 상토 등이 있으며 버미큘라이트에는 입자의 크기별로 특대립(4-7mm), 대립(2-4mm), 중립(1-3mm), 소립(1mm 이하)과 같이 분류함
- 트레이는 저면관수가 가능하며 보통 40, 50, 128, 162공 등으로 접수와 대목에 따라 다른 공수를 사용하고 사용 전후 세척이 필수임
- * 오이, 고추, 토마토 : 접수와 대목은 각각 162공, 128공, 셀 용량 10-15mL, 25-40mL인 것을 사용하며 접목묘의 경우 40/50공, 셀 용량 36-72mL인 것을 사용하는 것이 좋음
- * 수박 : 접수와 대목은 각각 128공, 40공, 셀 용량 25-40mL, 36-72mL인 것을 사용하며 접목묘의 경우 40공, 셀 용량 36-72mL인 것을 사용하는 것이 좋음
- 육묘 베드는 스티로폼 재질의 1200mm×600mm 규격이며 관수 및 배수량에 따라 자유자재로 물마개 높이를 조절할 수 있고 사용 중 이끼가 발생할 경우, 사용 전후 물 세척은 필수임. 사용하지 않을 때에는 건조 후 보관하며 누름 방지 또한 중요함
- 생육 단계 및 배액 농도에 따라 급수 양액 농도를 조절할 필요가 있음
- EC, pH 측정기로 생육 단계별 적정 양액 농도를 확인하고 유지하는 것이 중요하며 재배 기간이 계속되어도 농도, 무기원소 간의 비율 및 pH변화가 적어야 함

○ 과채류 접수/대목 주요 품종

- 오이 접수에는 조은백다다기, 청춘, 베테랑을, 대목에는 흑종(호박), 신토좌, 장수대목, 부름네스(반짝이골드, 눈부셔, 뉴타인)을 주로 사용함
 - 수박 접수로는 삼복꿀, 조은꿀, 대목으로는 불로장생, 신토좌, 대력3호, 강세, 참박, 방패, 블로킹, 오작교, 동장군, 불사조 등이 주로 사용됨
 - 고추는 접수로 신흥고추, 강력대군, 불칼라 등을, 대목으로 탄탄, 미팅, 카타구르마, 코네시안햇, 늘푸른, 마그네트 등을 사용함
 - 토마토의 경우 접수로 도태랑다이아, 라피도, 핑크스타를, 대목으로는 B블로킹, 간바루네11호, 스페셜, 솔루션, 그린파워, 하이타원, J3B등을 사용함
- 종자 보관 시 유의사항
- 종자는 활력 유지를 위하여 항상 밀봉하여 냉장 보관하는 것이 중요하며 증기 저장고는 온도 4℃ 내외, 상대습도 35% 내외로, 장기저장고의 경우는 온도 -18℃ 내외, 상대습도 40% 내외로 유지될 수 있도록 해야함
 - 종자의 수명은 작물의 종류에 따라 다르나, 동일한 종류의 종자일 경우, 그 수명은 속도, 함수량 등 종자 자체의 요인과 저장조건에 따라 다름. 고추는 단명 종자로서 그 수명은 1-2년이며 토마토, 수박 및 오이는 장명 종자로서 5년 이상의 수명을 가짐
 - 소량의 종자는 밀봉이 가능한 용기에 실리카겔, 염화칼슘 등의 건조제와 함께 저장할 수 있으며 적절히 건조된 종자의 경우 냉장고에서 5-10년, 냉동고에서는 그 이상으로 저장할 수 있음
 - 종자를 냉동고에서 꺼내 실온과 비슷해질 때까지 있어야 일부만 사용한 나머지 종자의 흡습을 방지할 수 있음
 - 종자가 보관된 용기를 자주 열거나 오랜 시간 열어놓았을 경우 건조제를 약 100-130℃에서 3-4시간 건조시킨 후 밀봉된 병에 넣어 식힌 뒤 용기에 넣으면 재사용이 가능함
 - 냉장 보관 시에는 별도의 제습제가 필요하나, 데시케이터(자동 제습 보관함)에 보관할 경우에는 제습의 기능이 있어 별도의 제습제가 필요 없이 보관이 가능함
- 육묘용 상토의 구비 조건
- 육묘용 상토는 파종상과 육묘상을 겸하기 때문에, 발아 불량은 결주 발생으로 이어지므로 전용 복토재료인 버미큘라이트를 이용하는 경우가 많아 상토의 높은 발아율과 입모율이 중요함
 - 상토에는 많은 비료 성분을 포함하여 추비가 필요 없는 유비 상토와 상대적으로 비료성분이 거의 없어 추비로 생육을 조절할 수 있는 무비 상토로 나뉘는데, 이처럼 육묘기간과 추비의 유무를 고려하여 적절한 상토를 선택하여야 함
 - 질소성분이 많은 경우나 과습 상태에서는 분형근 형성이 제대로 이루어지지 않는데 정식 시 플러그 트레이에서 묘를 뽑기가 어려우므로 분형근 형성이 쉬운 상토를 선택하는 것이 좋음
 - 육묘의 경우 상토량이 극히 적어 관수 관리가 어려우므로 주로 피트모스나 버미큘라이트와 같이 보수성 및 배수성이 우수한 것을 주재료로 이용하는데, 상토 자체도 보수성과 배수성이 우수한 것으로 구비하여야 함
 - 육묘용 상토 중 피트모스를 주재료로 한 경우 건조하면 수분 흡수력이 급격히 낮아지는 성질이 있는데, 이를 보완하기 위해 상토에 따라서는 발수를 막기 위해 습전제가 첨가된 것도 있으므로 고려하는 것이 좋음
 - 육묘 트레이의 셀이 크기가 작을수록 각 셀에 상토가 균일하게 충전되는 것이 중요하므로 분상이나 분상 혼합의 형태로 된 것을 선택하는 것이 좋음
 - 상토는 그 무게가 무거운 것보다는 가벼운 것이 더 좋으며 가비중 0.3-0.5kg/L정도의 것이 많음

○ 육묘용 양액의 구비/조제 조건

- 육묘용 양액은 필수 무기양분을 함유하여야 하고 뿌리에서 흡수하기 쉬운 형태로 물에 용해된 이온 상태여야하며 총 이온 농도가 적절하고(pH 5.5-6.5) 유해한 이온은 함유하지 않아야 하고 가격이 저렴하여야 함
- 작물의 접수 및 대목, 그리고 생육 시기별 양액 조성을 확인하는 것이 중요함
- 배액 농도를 결정하여 그에 따라 양액을 조제하며(일반적으로 100-200배액) 비료염 종류별로 정확히 계량하여 한 종류씩 용해시켜 섞어주는 것이 중요함
- A, B탱크를 분리하여 용해하고 관수 시 급여할 농축비율을 고려하여 두 양액을 희석하여야 함
- 희석 후 pH와 EC를 측정하고, 재배 도중의 pH와 EC 또한 주기적으로 측정하여 관리하는 것도 필수적이며 분석 후 원수가 부적합할 시에 원소를 파악하여 조제 시 감해주거나 정수장치로 정수, 철분 및 탄산의 제거가 요구됨
- 작물 육묘기간(1차, 2차)별로 농도를 조절하여 공급하도록 함
- 표준 공급 EC는 1.30-1.50dS/m로 육묘 초기 생육 상태에 따라 달라질 수 있고 근권부의 경우 양액의 pH가 5이하 및 7이상에서는 양분의 흡수가 저해되고 정상 pH회복에 어려움이 있으므로 5.5-6.5로 유지 및 관리 해주어야 하며 pH조절을 위해 질산(HNO₃)용액을 산 탱크에 적절히 투입하여야 함

○ 육묘용 범용 상토(그림93)

- Berger BM1은 피트모스, 펄라이트, 질석 등 육묘에 알맞은 비료를 함유하고 있음
- SUNGRO SUNSHINE은 피트모트, 펄라이트, 습윤제 등 어린 묘에 알맞은 비료를 함유하고 있음
- 참그로 원예용 상토는 코코피트, 피트모스, 질석, 펄라이트, 제오라이트 등을 함유하고 있음
- 바이오그린 원예용 상토는 코코피트, 피트모스, 질석, 펄라이트, 제오라이트 등을 함유하고 있음
- 바로커 원예용 상토는 코코피트, 피트모스, 질석, 펄라이트 등을 함유하고 있음
- 한아름 원예용 상토는 코코피트, 피트모스, 제오라이트, 질석, 펄라이트 등을 함유하고 있음
- 그 외 한판승 원예용 상토, 흥부 원예용 상토, 동부한농 원예용 상토, 풍농 원예용 상토 등 다양한 종류가 육묘에 쓰이고 있음



Berger: BM1 상토



SUNGRO SUNSHINE



참그로 육묘용 상토



바이오그린 원예용 상토



바로커 원예용 상토



한아름 원예용 상토

그림93. 종류별 육묘용 범용 상토

○ 육묘용 범용 피트모스(종이포트전용)(그림94)

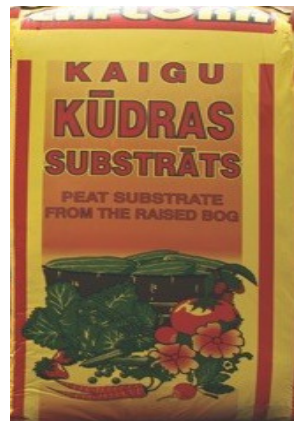
- SUNGRO PINDSTRUP는 높은 보수 능력, 공기 보유력이 높은 다공성, 낮은 염분, 중량에 비해 적은 부피 등의 특징을 갖는 고품질 피트모스임
- GRAMOFLOr SOILS Blumenerde는 천연유기물 90%로 품질이 우수하며, 보수성, 배수성, 통기성이 뛰어난 고순도 피트모스임
- Laflora Peatmoss는 수태 종류가 퇴적된 유기물질로서 보온, 보수, 보비, 통기성이 우수한 고품질 피트모스임
- SUNGRO SUNSHINE MIX 4는 높은 통기성과 빠른 배수로 접목묘 육묘시 효과가 탁월한 피트모스임



SUNGRO PINDSTRUP



GRAMOFLOr SOILS
Blumenerde



Laflora Peat Moss



SUNGRO SUNSHINE
MIX 4

그림94. 종류별 육묘용 범용 피트모스

○ 육묘용 범용 질석(그림95)

- 질석(버미큘라이트)는 배양토 및 비료의 원료로 사용되며, 흑운모가 풍화하여 수분을 함유한 광물임
- 질석은 소립(1mm 이하), 중립(1-3mm, 대립(2-4mm) 및 특대립(4-7mm) 등 다양한 규격으로 사용되고 있음



지에프씨 버미누리



에코라이트 질석



실버그린 질석

그림95. 종류별 육묘용 범용 질석

○ 원예연구소 육묘용 표준배양액의 조성

- N 112ppm, EC 1.4mS/m 기준으로 표51을 참고하여 조제할 수 있음

표51. 원예연구소 육묘용 표준배양액 조성

| 다량원소 | | | 미량원소 | | |
|------------------------------------------------------------------|--------|-----------|------------------------------------------------------------------|-------------------|-----------|
| 비료명 | 농도(mM) | 비료량(g/MT) | 비료명 | 농도(mM) | 비료량(g/MT) |
| 질산칼륨 (KNO ₃) | 2.4 | 242.6 | 킬레이트철 (Fe-EDTA) | 철(Fe) 2-5 | 20.0 |
| | | | 붕산 (H ₃ BO ₃) | 붕소(B) 0.5 | 3.0 |
| 질산칼슘 (Ca(NO ₃) ₂ ·4(H ₂ O)) | 2.4 | 566.9 | 황산망간 (MnSO ₄ ·5H ₂ O) | 망간(Mn) 0.5 | 2.0 |
| | | | 황산구리 (CuSO ₄ ·5H ₂ O) | 구리(Cu) 0.05 | 0.05 |
| 제1인산암모늄 (NH ₄ H ₂ PO ₄) | 0.8 | 92.0 | 황산아연 (ZnSO ₄ ·7H ₂ O) | 아연(Zn) 0.05 | 0.22 |
| 황산마그네슘 (MgSO ₄ ·7H ₂ O) | 0.8 | 197.2 | 몰리브산나트륨 (Na ₂ MoO ₄ ·2H ₂ O) | 몰리브덴산 (Mo)0.02 | 0.22 |

○ 일본원시양액 조성표

- 원수 1000L, EC 1.4dS/m 기준으로 표52를 참고하여 조제할 수 있음

- 표준공급 EC는 1.30-1.50 dS/m로 육묘 초기 생육 상태에 따라 달라질 수 있음

- 근권부양액의 pH는 5.5-6.5로 유지 및 관리 해주어야 함

- pH 5 이하 및 7 이상에서는 양분흡수 저해, 정상 pH 회복 어려움 등의 문제점 발생할 수 있음

- pH 조절을 위하여 질산(HNO₃)용액을 A, B 양액탱크에 일정량 투입할 수 있음

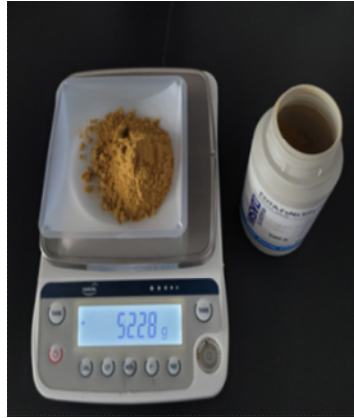
표52. 일본원시양액 조성표

| 배양액 A | | 배양액 B | |
|-------------------------------------------------------------------|----------|------------------------------------------------------------------|---------|
| 비료명 | 비료량(g) | 비료명 | 비료량(g) |
| 질산칼슘 (Ca(NO ₃) ₂ ·4(H ₂ O)) | 132,460g | 질산가리 (KNO ₃) | 56,560g |
| | | 제1인산암모늄 (NH ₄ H ₂ PO ₄) | 7,140 |
| | | 황산마그네슘 (MgSO ₄ ·7H ₂ O) | 68,880 |
| 질산칼륨 (KNO ₃) | 56,560g | 황산구리 (CuSO ₄ ·5H ₂ O) | 26.404 |
| | | 붕산 (H ₃ BO ₃) | 216.104 |
| 킬레이트철 (Fe-EDTA) | 896g | 황산망간 (MnSO ₄ ·5H ₂ O) | 324.562 |
| | | 황산아연 (ZnSO ₄ ·7H ₂ O) | 201.306 |
| | | 몰리브산나트륨 (Na ₂ MoO ₄ ·2H ₂ O) | 1.764 |

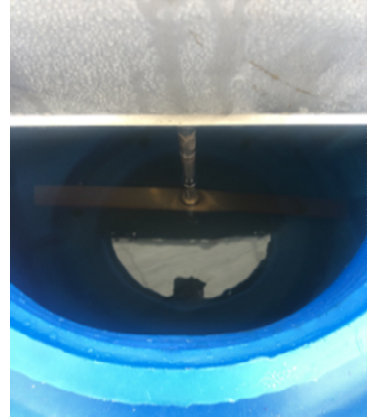
○ 일본원시양액 조제의 실제



1. 양액탱크에 원수를 채워줌



2. 일본원시처방전 A 배양액 기준 비료 무게 측정



3. 양액 A 탱크에 조제한 비료 투입



4. 비료 투입 후 A 양액탱크 용액 500L가 되도록 원수 공급



5. 교반기작동하여 용해 실시



6. 배양액 B도 같은 방법으로 조제시켜줌

그림96. 육묘용 일본원시양액 조제 과정

○ TECHNIGRO 양액조성 및 양액조제의 실제(그림98)

- 조성비는 다음과 같음

* N: 13%, P₂O₅: 2%, K₂O: 13%, Ca: 6%, mg: 6%, B: 0.06%, Cu: 0.003%, Fe: 0.05%, Mn: 0.03%, Mo: 0.001%, Zn: 0.0026%



그림97. 육묘용 TECHNIGRO 양액



1. 양액탱크에 원수를 500L 채워 줌

2. 농도에 따라 비료염무게를 측정하여 해리시켜줌

3. 에어컴프레셔로 1분 이상 교반

4. EC, pH 측정기를 이용하여 농도 체크

그림98. TECHNIGRO 양액 조제 과정

○ 양액의관리(EC 측정 및 pH 측정)



1. 관수 시 혼합되어 나오는 양액저장

2. EC 측정기를 이용하여 양액의EC 측정

1. 관수 시 혼합되어 나오는 양액저장

2. pH 측정기를 이용하여 양액의pH 측정

그림99. 양액 EC 및 pH 측정

(3) 과채류 접수/대목 육묘 환경 관리

○ 과채류 접수/대목 육묘 환경 조건

- 식물공장형육묘시스템에서과채류(오이, 수박, 토마토, 고추) 접수 및 대목을 육묘하기 위한 기본 환경 조건으로, 작물 및 모종의 생육 단계에 따라 제시된 환경조건을 구현하여야 안정적인 생산 가능같은 환경 아래에서도 작물의 품종에 따라 생육의 차이가 있을 수 있음

표53. 과채류 접수 및 대목의 육묘 환경 조건

| 온도(°C) | 습도(%) | 광량($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) | 광주기(h) | 양액(dS/m) | 관수 |
|--------|-------|-----------------------------------------------------------|--------|----------|------------------|
| 주간 25 | 주간 70 | 200 | 주간 16 | EC 1.4 | 토양수분함량 60% 기준 |
| 야간 20 | 야간 85 | | 야간 8 | | |

○ 식물공장형육묘시스템 주/야간 기온(그림100)

- 온도 편차는 육묘시스템 설정값과 0.4/0.06°C(주/야)의 편차 발생함
- 프로그램 세팅값과 실측값의 편차가 매우 낮아 정밀한 제어가 이루어졌음을 확인함

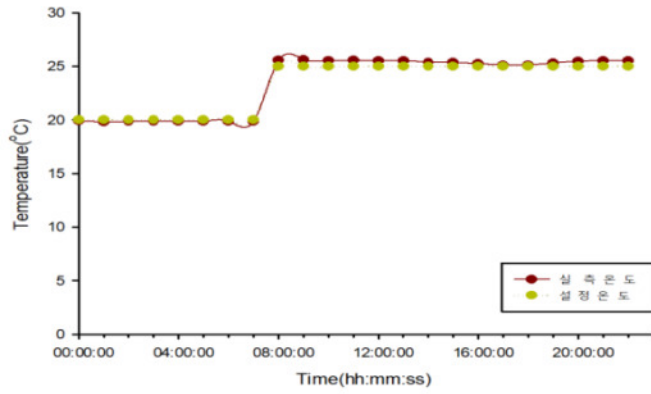


그림100. 식물공장형육묘시스템 내온도 변화

○ 식물공장형육묘시스템 주/야간 습도(그림101)

- 습도 편차는 육묘시스템 설정값과 7.1/4.4%(주/야)의 편차 발생함
- 프로그램 세팅값과 실측값의 편차가 매우 낮아 정밀한 제어가 이루어 졌음을 확인함

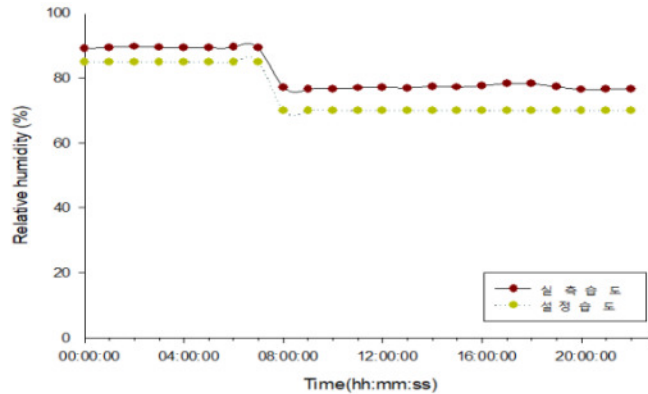


그림 101. 식물공장형육묘시스템 내 습도 변화

○ 과채류 접수/대목 육묘을위한 LEDs의 스펙트럼

- 광합성에 필요한 파장대는 400-700nm범위임(가시광선)
- 청색광은 뿌리의 생육을 촉진, 잎, 줄기의 성장을 억제(웃자람 방지)
- 적색광은 잎, 줄기의 성장을 촉진
- 광합성에는 적/청색이 주된 역할을 하지만 빠른 성장을 위해서 녹색 등의 태양광과 유사한 파장의 LED를 고르는 것이 적합
- 다양한 파장이 요구 됨

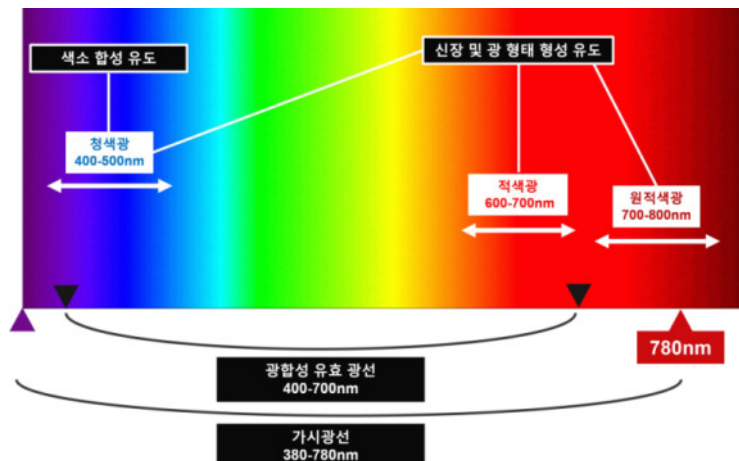


그림102. 특정 스펙트럼 내 식물 반응의 특징

○ 식물공장형육묘시스템LEDs 광질

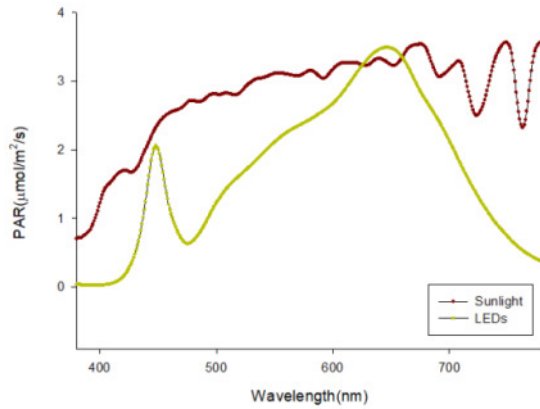


그림103. 태양광 및 식물공장형육묘시스템 내 적용 LEDs 광질

- 적색광은 근적색광비율이 낮으면 영양생장, 높으면 생식생장이 이루어짐
- LEDs의 적색광은 근적색광비율이 태양광보다 높으므로 생식생장이 더 잘 이루어짐
- LEDs를 이용하여 단기간 육묘시생장 촉진이 더 잘 이루어질 수 있음

표54 . 태양광 및 식물공장형육묘시스템 적용 LEDs 스펙트럼별 비율

| 광 종류 | 측정 광량 ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) | 청색광(%) | 적색광(%) | 근적색광(%) | 적색광:근적색광 (%) |
|------|------------------------------------------------------------------|--------|--------|---------|-----------------|
| 태양광 | 855 | 26 | 39 | 29 | 1.3 |
| LEDs | 590 | 14 | 52 | 14 | 3.7 |

- 작물의 접수/대목 생산 시 수평적 광 분포도는 $211\pm 27.7\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ (평균± 표준편차), $211\pm 27.7\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ (평균± 표준편차), $261\pm 42.3\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ (평균± 표준편차)

표55. 각 작물의 생육 시기별 광 분포도 및 광량

| 작물 | 생육 일차 | 광분포도 및 광량 | 트레이로부터 높이 (식물체 높이) |
|------------------|----------|-----------|-----------------------|
| 박과 (오이, 수박) | 재배 전체 기간 | | 0-10cm |
| 가지과 (고추, 토마토) | 0-10일차 | | 0-10cm |
| | 10일-접목 전 | | 10-15cm |

○ 관수 전 확인사항(그림104)

- (양액) 양액탱크 내 양액이 300L 이상 있는지 확인, 양액 농도가 잘 맞는지 확인
- (밸브) 양액탱크 및 압력 펌프 간 밸브가 열려 있는지 확인, 압력 펌프와 식물공장형육묘 시스템 모듈 간 연결 파이프 밸브가 열려 있는지 확인, 식물공장형육묘시스템 내 각 모듈과 연결된 관수 설정 단추가 AUTO로 설정되어 있는지 확인
- (양액펌프) 압력이 2.0으로 설정되어 있는지 확인
- (디스크 필터) 디스크 필터에 이물질이 끼지 않았는지 확인



양액을 300L 이상 채움



양액농도를 확인하여 줌



양액 탱크와 압력 펌프 간 밸브를 열어줌



압력 펌프와 육묘시스템 모듈 간 연결 파이프 밸브를 열어줌



육묘시스템 내 각 모듈과 연결된 관수 설정 단추를 AUTO로 설정



(▲), (▼) 단추를 눌러 양액펌프 압력을 2.0으로 설정해 줌



디스크 필터 이물질 확인

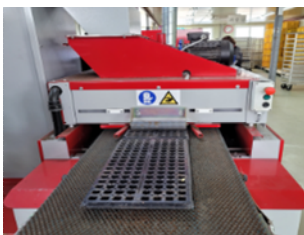


디스크 필터 세척 실시

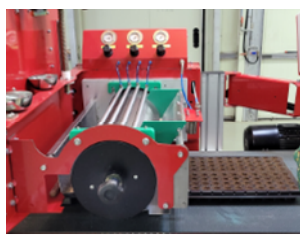
그림104. 밸브관수 전 확인사항: 밸브, 양액펌프 및 디스크 필터

(4) 과채류 접수/대목 생산 공정

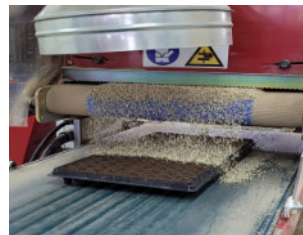
- 과채류 접수/대목 생산 공정(그림105) : 트레이에 상토 충전 및 누름 작업→트레이 1셀 당 1립 씩 파종, 미립 종자는 여러립을 1공에 파종→7일 후 숙음 작업→ 버미큘라이트로 복토(박과 대목의 경우 파종 후 한 번 눌러주고 복토)→파종 직후 수분함량이 약 65%가 되는 시점까지 관수



상토 충전



드럼식 파종기로 파종



복토



관수

그림105. 과채류 접수/대목 생산 공정

- 과채류 접수/대목 발아실 환경조건
 - 온도 27±1℃ 상대습도 100%로 설정, 암처리, 작물 및 품종에 따라 발아 일수를 달리하여 발아실에서 발아
- 작물 및 품종에 따라 식물공장형육묘시스템 환경을 달리 설정하여 육묘 생산 가능
- 작물에 따라 접수/대목 별 육묘기간은 상이하며, 동일 작물, 다른 품종일 경우 육묘 일수가 2-3일 차이가 있을 수 있음
- 작물이 시드는 경우 풍속 및 관수량 조절이 필요하며, 저면관수방법으로 스케줄에 따라 관수 회당 10분간 양액으로 포습시킴



그림106. 식물공장형육묘시스템 발아실 및 육묘실

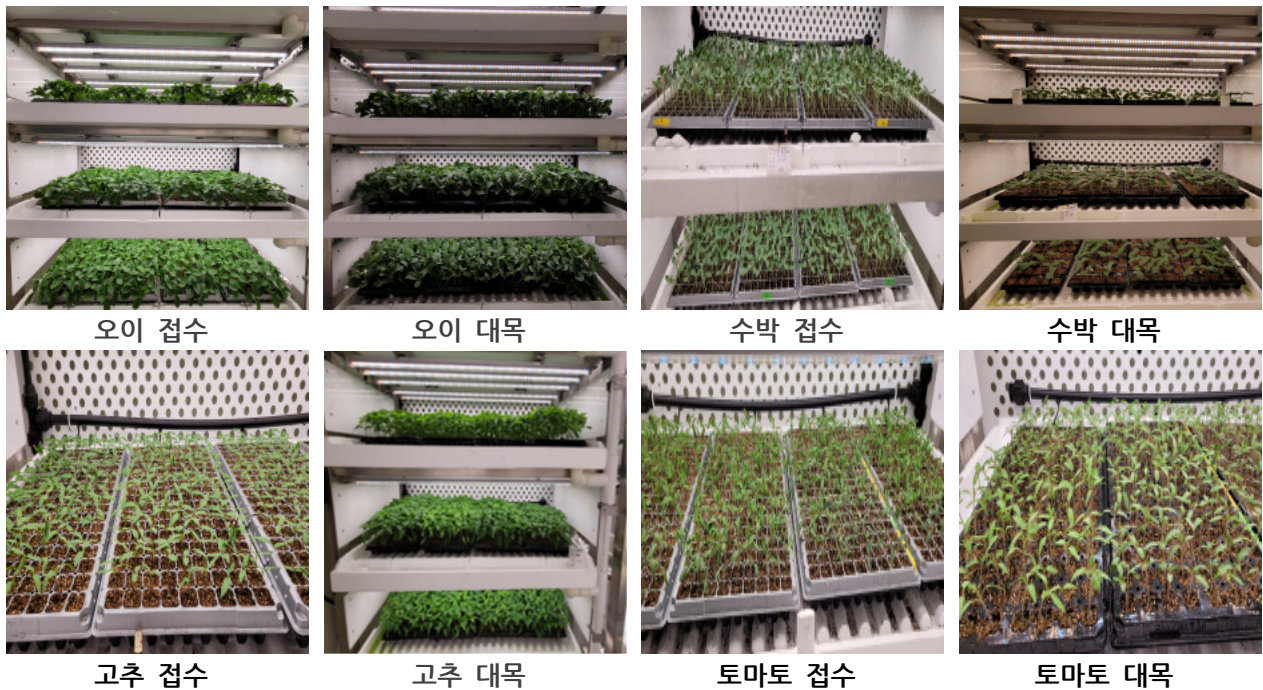


그림107. 식물공장형육묘시스템 육묘실 내 작물별 배치

- 접목
 - 작물 별 1차 육묘기간이 끝난 후 접목 진행
 - 작물 별 접목 방법은 각각 상이

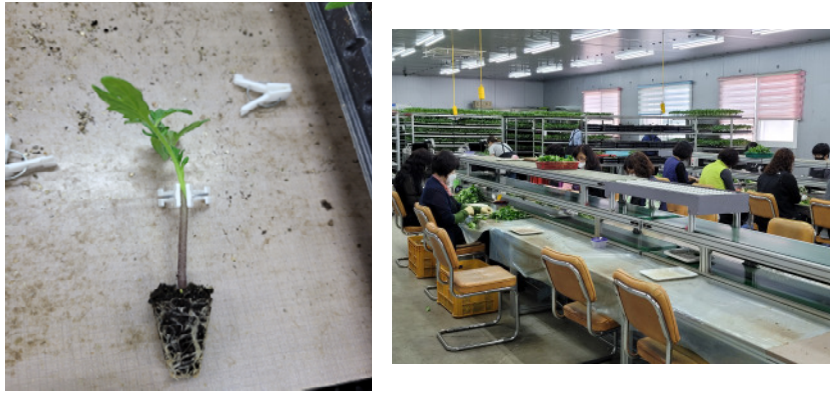


그림108. 호*영농조합법인 내 접목작업실 전경

○ 육묘 모듈 유지 관리

- 육묘 모듈 내 LED를 모두 OFF 스티로폼 베드에 고인 양액 및 물이 고이지 않게 완전 배수해줌
- 베드 내 물을 부어불순물 1차 제거
- 청소용 솔 또는 걸레를 이용하여 남은 불순물 모두 제거
- 세척 후 완전 건조 후 재 사용 실시
- 양액 탱크는 6개월에 1회 청소

(5) 과채류 접수/대목 생산 시 문제점 및 해결방안

○ 작물이 시들 때

- 정해진 시간에 균일한 관수가 잘 되는지 확인
- 관수가 잘 되지 않는 경우 해결방안 (시스템 매뉴얼 참조) : 디스크 필터를 청소해 줌, 양액탱크 내 양액을 300L 이상 채워 줌, 압력 펌프 내 관수 공급 압력을 높여 줌
- 관수가 잘 되는 경우 해결방안 : 스티로폼 베드의 구배가 수평인지 확인 후 구배 조정, 양액EC 및 pH 농도 확인 후 생육 시기에 따라 농도 조정, 풍속을 약하게 조절

○ 작물이 도장할 때

- 주/야간 온습도가 잘 제어되는지 확인(터치 스크린 그래프 확인)
- 온습도 제어가 잘 되지 않는 경우 해결방안(시스템 매뉴얼 참조) : 시스템 재부팅, 온습도 센서를 마른 천으로 닦아줌, 가슴기 필터 교체 시기 확인 및 교체, 가슴기 내부 초음파 진동판을 부드러운 붓으로 청소해 줌,
- 온습도제어가 잘 되는 경우 해결방안 : LED 수명이 다 되지 않았는지 확인 및 교체, 설정 광량에 맞게 조사가 되는지 확인, 광량을 더 높게 설정하여 육묘

<제1협동(원예원) 인공광 식물공장육묘시스템 표준모델 및 접수/대목 생산매뉴얼 현장실증 평가>

1) 식물공장형육묘시스템 이용 과채류 접수/대목 생산 공정 및 모델 설계

(1) 식물공장형육묘시스템 현장 실증 연구를 위한 공정육묘장 선정

- 식물공장형육묘시스템 선행연구 결과를 기준으로 현장실증 육묘 환경 조건을 설정함
 - 식물공장형육묘시스템을 통해 과채류(오이, 수박, 고추 및 토마토)의 접수 및 대목 적정 온도 조건을 구명하였음
 - 적정 온도 조건은 경제성을 고려한 LUE(Light use efficiency) 기준으로 판단하였으며, LUE는 DLI(Daily integral light)에 대한 처리구별 건조중의 비중을 통해 구하였음
- 오이 접수의 경우 온도 및 광도에 따른 생육 비교 시 온도 조건 모든 처리구에서 광도가 높아질수록 초장이 감소하는 경향을 보였으며, 반대로 경경 및 건물중은 증가하는 경향을 보였음
 - 모든 처리구에서 광도 $150\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 이상의 조건에서 건물중 비율 6% 이상, 건물중 0.04g 이상 및 모종 총실도 7 이상으로 묘소질이 우수하였음
- 인공광을 이용하는 식물공장형육묘시스템에서의 오이 접수를 생산하기 위한 적정 온도와 광도 조건 설정을 위해 광도 $150\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 이상의 조건에서 온도 및 광도 처리별 인공광 이용 대비 건물중 생산비를 나타내는 광이용효율(LUE)를 비교하였음
 - 온도 처리별 광도에 따른 LUE 비교 시 온도 25/20에서 광도 $150\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 조건의 LUE는 1.01, 온도 26/18에서 광도 $150\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 조건의 LUE는 0.85, 온도 27/16에서 광도 $150\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 조건의 LUE는 1.09로 높았음
- 오이 대목의 경우 오이 접수처럼 대목의 경우도 온도 및 광도에 따른 생육 비교 시 온도 조건 모든 처리구에서 광도가 높아질수록 초장이 감소하는 경향을 보였으며, 반대로 경경 및 건물중은 증가하는 경향을 보였음
 - 모든 처리구에서 광도 $150\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 이상의 조건에서 건물중 비율 5.5% 이상, 건물중 0.17g 이상 및 모종 총실도 20 이상으로 묘소질이 우수하였음
- 인공광을 이용하는 식물공장형육묘시스템에서의 오이 대목을 생산하기 위한 적정 온도와 광도 조건 설정을 위해 광도 $150\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 이상의 조건에서 온도 및 광도 처리별 광이용효율(LUE)를 비교하였음
 - 온도 처리별 광도에 따른 LUE 비교 시 온도 25/20에서 광도 $150\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 조건의 LUE는 3.67, 온도 26/18에서 광도 $150\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 조건의 LUE는 3.27, 온도 27/16에서 광도 $150\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 조건의 LUE는 3.30로 높았음

표1. 광도 및 온도에 따른 오이 접수의 생육 특성

| Temperature (°C) | Light intensity (mmol m ⁻² s ⁻¹) | Shoot length (cm) | Shoot diameter (mm) | Leaf number | Leaf area (cm ²) | Shoot FW (g) | Shoot DW (g) | Dry Matter Content (%) | Compactness | DLI (mol m ⁻²) | LUE (mg/mol m ⁻²) |
|---------------------|---------------------------------------------------------|-------------------|---------------------|-------------|------------------------------|--------------|--------------|------------------------|-------------|----------------------------|-------------------------------|
| 25/20 | 50 | 7.8 c | 1.51 e | 2.0 d | 13.7 d | 0.604 e | 0.027 g | 4.5 g | 3.5 g | 2.88 e | 1.56 a |
| | 100 | 8.2 b | 1.73 ab | 2.0 d | 19.0 ab | 0.879 a | 0.044 e | 5.0 f | 5.4 f | 5.76 d | 1.27 b |
| | 150 | 7.0 d | 1.78 a | 2.0 cd | 19.6 a | 0.854 a | 0.052 cd | 6.1 d | 7.6 e | 8.64 c | 1.01 d |
| | 200 | 5.2 gh | 1.73 ab | 2.5 a | 18.0 b | 0.742 b | 0.053 cd | 7.1 c | 10.4 d | 11.52 b | 0.76 fgh |
| | 250 | 3.9 j | 1.63 cd | 2.2 bcd | 16.1 c | 0.677 cd | 0.061 ab | 9.1 a | 15.6 a | 14.40 a | 0.70 h |
| 26/18 | 50 | 9.2 a | 1.55 e | 2.0 d | 13.0 d | 0.670 cd | 0.027 g | 4.1 g | 3.0 g | 2.88 e | 1.58 a |
| | 100 | 6.8 d | 1.65 bcd | 2.0 d | 15.8 c | 0.668 cd | 0.037 f | 5.6 e | 5.5 f | 5.76 d | 1.07 cd |
| | 150 | 6.3 e | 1.66 bcd | 2.0 cd | 16.2 c | 0.710 bc | 0.044 e | 6.3 d | 7.1 e | 8.64 c | 0.85 e |
| | 200 | 4.7 i | 1.72 abc | 2.2 bcd | 16.0 c | 0.651 de | 0.055 c | 8.5 b | 11.9 c | 11.52 b | 0.80 efg |
| | 250 | 4.8 hi | 1.73 ab | 2.2 cb | 16.6 c | 0.709 bc | 0.064 a | 9.1 a | 13.5 b | 14.40 a | 0.74 gh |
| 27/16 | 50 | 7.1 d | 1.36 f | 2.0 d | 8.6 f | 0.423 h | 0.022 h | 5.1 ef | 3.0 g | 2.88 e | 1.25 b |
| | 100 | 5.5 fg | 1.54 e | 2.0 d | 11.7 e | 0.489 g | 0.029 g | 6.1 d | 5.4 f | 5.76 d | 0.85 ef |
| | 150 | 5.6 f | 1.72 abc | 2.4 ab | 16.5 c | 0.698 bcd | 0.057 bc | 8.2 b | 10.3 d | 8.64 c | 1.09 c |
| | 200 | 4.4 i | 1.60 de | 2.3 ab | 15.6 c | 0.644 de | 0.054 c | 8.4 b | 12.3 c | 11.52 b | 0.78 efg |
| | 250 | 3.7 j | 1.54 e | 2.0 d | 13.6 d | 0.547 f | 0.049 d | 9.1 a | 13.5 b | 14.40 a | 0.57 i |
| Significance | | | | | | | | | | | |
| Temperature | | *** | *** | NS | *** | *** | *** | *** | * | NA | *** |
| Light intensity | | *** | *** | *** | *** | *** | *** | *** | *** | *** | *** |
| Interaction | | *** | *** | *** | *** | *** | *** | *** | *** | NA | *** |

표2. 광도 및 온도에 따른 오이 대목의 생육 특성

| Temperature (°C) | Light intensity (mmol m ⁻² s ⁻¹) | Shoot length (cm) | Shoot diameter (mm) | Leaf number | Leaf area (cm ²) | Shoot FW (g) | Shoot DW (g) | Dry Matter Content (%) | Compactness | DLI (mol m ⁻²) | LUE (mg/mol m ⁻²) |
|---------------------|---------------------------------------------------------|-------------------|---------------------|-------------|------------------------------|--------------|--------------|------------------------|-------------|----------------------------|-------------------------------|
| 25/20 | 50 | 8.1 bc | 2.48 cde | 3.0 a | 39.3 c | 2.800 cd | 0.155 de | 5.6 g | 19.7 ef | 2.88 e | 9.00 a |
| | 100 | 5.8 g | 2.31 fg | 3.0 a | 37.8 c | 2.358 f | 0.152 ef | 6.6 bcd | 26.5 bc | 5.76 d | 4.39 c |
| | 150 | 8.0 bc | 2.64 ab | 3.0 a | 49.9 a | 3.263 a | 0.190 a | 5.8 efg | 23.8 cd | 8.64 c | 3.67 de |
| | 200 | 6.3 ef | 2.58 abcd | 3.0 a | 47.4 ab | 2.898 c | 0.174 bc | 6.1 efg | 27.8 b | 11.52 b | 2.52 fg |
| | 250 | 6.4 e | 2.66 a | 3.0 b | 50.0 a | 3.164 ab | 0.194 a | 6.2 de | 30.5 a | 14.40 a | 3.35 fg |
| 26/18 | 50 | 9.4 a | 2.39 ef | 3.0 a | 30.1 e | 2.452 ef | 0.139 fg | 5.7 fg | 15.0 h | 2.88 e | 8.03 b |
| | 100 | 7.4 d | 2.27 gh | 3.0 a | 33.6 d | 2.337 f | 0.141 fg | 6.0 efg | 19.2 fg | 5.76 d | 4.07 cd |
| | 150 | 8.0 bc | 2.52 bcd | 3.0 a | 45.2 b | 3.030 abc | 0.170 bcd | 5.6 fg | 21.3 def | 8.64 c | 3.27 e |
| | 200 | 7.3 d | 2.47 de | 3.0 a | 46.8 ab | 3.148 ab | 0.184 ab | 5.9 efg | 25.5 bc | 11.52 b | 2.67 f |
| | 250 | 6.2 efg | 2.56 abcd | 3.0 a | 47.7 ab | 3.014 bc | 0.198 a | 6.6 bcd | 32.1 a | 14.40 a | 2.29 fg |
| 27/16 | 50 | 8.3 b | 2.30 fg | 2.0 c | 23.3 f | 2.109 g | 0.138 fg | 6.5 cd | 16.7 gh | 2.88 e | 7.96 b |
| | 100 | 6.2 efg | 2.16 h | 2.0 c | 21.9 f | 1.756 h | 0.131 g | 7.5 a | 21.2 def | 5.76 d | 3.79 d |
| | 150 | 7.7 cd | 2.54 bcd | 3.0 a | 46.0 b | 3.038 abc | 0.171 bc | 5.7 fg | 22.4 de | 8.64 c | 3.30 e |
| | 200 | 6.3 ef | 2.60 abc | 3.0 a | 38.8 c | 2.502 ef | 0.168 cd | 6.7 bc | 27.2 b | 11.52 b | 2.43 fg |
| | 250 | 5.9 fg | 2.51 cde | 3.0 a | 40.7 c | 2.660 de | 0.185 ab | 7.0 b | 31.5 a | 14.40 a | 2.14 g |
| Significance | | | | | | | | | | | |
| Temperature | | *** | *** | *** | *** | *** | *** | *** | *** | NA | *** |
| Light intensity | | *** | *** | *** | *** | *** | *** | *** | *** | *** | *** |
| Interaction | | *** | NS | *** | *** | *** | NS | *** | ** | NA | ** |

- 수박 접수의 경우 온도 및 광도에 따른 생육 비교 시 온도 조건 모든 처리구에서 광도가 높아질수록 초장이 감소하는 경향을 보였으며, 반대로 엽면적 및 건물중은 증가하는 경향을 보였음
 - 모든 처리구에서 광도 $150\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 이상의 조건에서 건물중 비율 5.5% 이상, 건물중 0.035g 이상 및 모종 총실도 4.5 이상으로 묘소질이 우수하였음
- 인공광을 이용하는 식물공장형육묘시스템에서의 수박 접수를 생산하기 위한 적정 온도와 광도 조건 설정을 위해 광도 $150\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 이상의 조건에서 온도 및 광도 처리별 광이용효율 (LUE)를 비교하였음
 - 온도 처리별 광도에 따른 LUE 비교 시 온도 25/20에서 광도 $150\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 조건의 LUE는 0.82, 온도 26/18에서 광도 $150\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 조건의 LUE는 0.72, 온도 27/16에서 광도 $150\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 조건의 LUE는 0.76로 높았음
- 수박 접수처럼 대목의 경우도 온도 및 광도에 따른 생육 비교 시 온도 조건 모든 처리구에서 광도가 높아질수록 초장이 감소하는 경향을 보였으며, 반대로 엽면적 및 건물중은 증가하는 경향을 보였음
 - 모든 처리구에서 광도 $150\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 이상의 조건에서 건물중 비율 5.5% 이상, 건물중 0.075g 이상 및 모종 총실도 14 이상으로 묘소질이 우수하였음
- 인공광을 이용하는 식물공장형육묘시스템에서의 수박 대목을 생산하기 위한 적정 온도와 광도 조건 설정을 위해 광도 $150\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 이상의 조건에서 온도 및 광도 처리별 광이용효율(LUE)를 비교하였음
 - 온도 처리별 광도에 따른 LUE 비교 시 온도 25/20에서 광도 $150\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 조건의 LUE는 1.53, 온도 26/18에서 광도 $150\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 조건의 LUE는 1.56, 온도 27/16에서 광도 $150\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 조건의 LUE는 1.77로 높았음

표3. 광도 및 온도에 따른 수박 접수의 생육 특성

| Temperature(℃) | Light intensity (mmol m ⁻² s ⁻¹) | Shoot length (cm) | Shoot diameter (mm) | Leaf number | Leaf area (cm ²) | Shoot FW (g) | Shoot DW (g) | Dry Matter Content (%) | Compactness | DLI (mol m ⁻²) | LUE (mg/mol m ⁻²) |
|-----------------|---------------------------------------------------------|-------------------|---------------------|-------------|------------------------------|--------------|--------------|------------------------|-------------|----------------------------|-------------------------------|
| 25/20 | 50 | 10.4 a | 1.82 a | 2.0 b | 5.40 g | 0.606 e | 0.028 i | 4.59 fg | 2.68 ij | 2.88 e | 1.62 a |
| | 100 | 9.1 c | 1.78 ab | 2.0 b | 8.12 e | 0.660 bc | 0.033 h | 4.94 e | 3.60 g | 5.76 d | 0.94 d |
| | 150 | 7.1 g | 1.79 ab | 2.0 b | 10.85 b | 0.701 ab | 0.042 cd | 6.04 d | 6.03 e | 8.64 c | 0.82 e |
| | 200 | 6.2 ij | 1.79 ab | 2.0 b | 11.75 a | 0.736 a | 0.047 b | 6.36 c | 7.51 c | 11.52 b | 0.67 g |
| | 250 | 5.4 k | 1.67 cd | 2.0 b | 11.34 ab | 0.694 b | 0.051 a | 7.41 a | 9.55 a | 14.40 a | 0.60 h |
| 26/18 | 50 | 10.0 b | 1.66 cd | 2.0 b | 4.31 h | 0.555 f | 0.023 j | 4.20 h | 2.35 j | 2.88 e | 1.35 b |
| | 100 | 8.2 de | 1.67 cd | 2.0 b | 6.92 f | 0.592 ef | 0.028 i | 4.80 ef | 3.45 gh | 5.76 d | 0.82 e |
| | 150 | 7.7 f | 1.65 cd | 2.0 b | 9.02 d | 0.651 cd | 0.037 fg | 5.71 d | 4.85 f | 8.64 c | 0.72 fg |
| | 200 | 5.9 j | 1.72 bc | 2.0 b | 9.89 c | 0.615 de | 0.041 de | 6.62 c | 6.95 d | 11.52 b | 0.59 hi |
| | 250 | 5.3 k | 1.63 de | 2.0 b | 9.83 c | 0.587 ef | 0.045 bc | 7.71 a | 8.84 b | 14.40 a | 0.52 i |
| 27/16 | 50 | 8.5 d | 1.55 e | 2.0 b | 2.39 i | 0.418 h | 0.019 k | 4.46 gh | 2.19 j | 2.88 e | 1.08 c |
| | 100 | 6.7 gh | 1.55 e | 2.0 b | 3.93 h | 0.397 h | 0.020 k | 5.01 e | 2.95 hi | 5.76 d | 0.58 hi |
| | 150 | 7.9 ef | 1.66 cd | 2.2 a | 9.38 cd | 0.671 bc | 0.039 ef | 5.85 d | 4.98 f | 8.64 c | 0.76 ef |
| | 200 | 6.6 hi | 1.64 cd | 2.0 b | 9.08 d | 0.606 e | 0.040 de | 6.61 c | 6.09 e | 11.52 b | 0.58 hi |
| | 250 | 5.4 k | 1.60 de | 2.0 b | 8.04 e | 0.497 g | 0.035 호 | 6.98 b | 6.53 de | 14.40 a | 0.40 j |
| Significance | | | | | | | | | | | |
| Temperature | | *** | *** | * | *** | *** | *** | NS | *** | NA | *** |
| Light intensity | | | *** | *** | ** | *** | *** | *** | *** | *** | *** |
| Interaction | | *** | *** | *** | *** | *** | *** | *** | *** | NA | *** |

표4. 광도 및 온도에 따른 수박 대목의 생육 특성

| Temperature(°C) | Light intensity (mmol m ⁻² s ⁻¹) | Shoot length (cm) | Shoot diameter (mm) | Leaf number | Leaf area (cm ²) | Shoot FW (g) | Shoot DW (g) | Dry Matter Content (%) | Compactness | DLI (mol m ⁻²) | LUE (mg/mol m ⁻²) |
|-----------------|---------------------------------------------------------|-------------------|---------------------|-------------|------------------------------|--------------|--------------|------------------------|-------------|----------------------------|-------------------------------|
| 25/20 | 50 | 7.1 b | 2.30 defg | 2.0 c | 18.5 ₉ d | 1.331 c | 0.066 hi | 4.9 ₈ g | 9.34 h | 2.88 e | 3.83 a |
| | 100 | 5.2 f | 2.37 bcde | 2.0 c | 21.1 ₉ b | 1.307 dc | 0.071 gh | 5.4 ₇ f | 13.88 ef | 5.76 d | 2.07 c |
| | 150 | 5.2 f | 2.40 abcd | 2.0 c | 21.1 ₁ b | 1.319 dc | 0.079 ef | 6.0 ₂ e | 15.29 de | 8.64 c | 1.53 f |
| | 200 | 5.2 f | 2.47 abcd | 2.1 cb | 24.0 ₅ a | 1.500 ba | 0.100 b | 6.7 ₁ c | 19.24 b | 11.52 b | 1.45 f |
| | 250 | 4.5 g | 2.44 abcd | 2.4 a | 23.8 ₃ a | 1.434 b | 0.110 a | 7.6 ₉ b | 24.59 a | 14.40 a | 1.28 g |
| 26/18 | 50 | 9.2 a | 2.47 abcd | 2.0 c | 12.1 ₄ f | 1.341 c | 0.066 i | 4.9 ₁ g | 7.15 i | 2.88 e | 3.80 a |
| | 100 | 6.1 c | 2.14 ij | 2.0 c | 19.6 ₅ cd | 1.240 d | 0.072 g | 5.8 ₆ e | 11.91 g | 5.76 d | 2.10 c |
| | 150 | 5.8 de | 2.26 fgh | 2.0 c | 20.1 ₈ bc | 1.295 dc | 0.081 ef | 6.2 ₆ de | 14.06 ef | 8.64 c | 1.56 ef |
| | 200 | 4.6 g | 2.18 hi | 2.0 c | 18.7 ₈ cd | 1.153 e | 0.079 ef | 6.8 ₇ c | 17.18 c | 11.52 b | 1.15 g |
| | 250 | 5.7 e | 2.29 efg | 2.0 c | 18.7 ₅ cd | 1.261 dc | 0.084 de | 6.6 ₃ cd | 14.73 e | 14.40 a | 0.97 h |
| 27/16 | 50 | 5.0 f | 2.08 jk | 2.0 c | 7.01 g | 0.707 g | 0.063 ij | 8.9 ₀ a | 12.77 fg | 2.88 e | 3.64 b |
| | 100 | 4.1 h | 2.01 k | 2.0 c | 7.53 g | 0.644 g | 0.059 j | 9.1 ₂ a | 14.70 e | 5.76 d | 1.70 de |
| | 150 | 6.0 cd | 2.49 a | 2.1 b | 24.3 ₇ a | 1.544 a | 0.092 c | 5.9 ₆ e | 15.35 de | 8.64 c | 1.77 d |
| | 200 | 5.3 f | 2.35 cdef | 2.0 c | 19.3 ₄ cd | 1.283 dc | 0.087 cd | 6.8 ₂ c | 16.68 cd | 11.52 b | 1.26 g |
| | 250 | 5.2 f | 2.22 hig | 2.0 c | 14.1 ₉ e | 1.034 f | 0.076 fg | 7.4 ₆ b | 15.13 de | 14.40 a | 0.88 h |
| Significance | | | | | | | | | | | |
| Temperature | | *** | *** | *** | *** | *** | *** | *** | *** | NA | *** |
| Light intensity | | | *** | *** | *** | *** | *** | *** | *** | *** | *** |
| Interaction | | *** | *** | *** | *** | *** | *** | *** | *** | NA | *** |

- 토마토 접수의 경우 온도 및 광도에 따른 생육 비교 시 온도 조건 모든 처리구에서 광도가 높아질수록 하배축이 감소하는 경향을 보였으며, 반대로 경경, 엽면적 및 건물중은 증가하는 경향을 보였음
 - 모든 처리구에서 광도 $200\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 이상의 조건에서 건물중 비율 8% 이상, 건물중 0.08g 이상 및 모종 총실도 7.5 이상으로 묘소질이 우수하였음
- 인공광을 이용하는 식물공장형육묘시스템에서의 토마토 접수를 생산하기 위한 적정 온도와 광도 조건 설정을 위해 광도 $200\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 이상의 조건에서 온도 및 광도 처리별 인공광 이용 대비 건물중 생산비를 나타내는 광이용효율(LUE)를 비교하였음
 - 온도 처리별 광도에 따른 LUE 비교 시 온도 23/20에서 광도 $200\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 조건의 LUE는 0.56, 온도 25/20에서 광도 $200\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 조건의 LUE는 0.55, 온도 27/20에서 광도 $200\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 조건의 LUE는 0.46로 높았음
- 토마토 접수처럼 대목의 경우도 온도 및 광도에 따른 생육 비교 시 온도 조건 모든 처리구에서 광도가 높아질수록 하배축이 감소하는 경향을 보였으며, 반대로 경경, 엽면적 및 건물중은 증가하는 경향을 보였음
 - 모든 처리구에서 광도 $200\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 이상의 조건에서 건물중 비율 7% 이상, 건물중 0.07g 이상 및 모종 총실도 6.8 이상으로 묘소질이 우수하였음
- 인공광을 이용하는 식물공장형육묘시스템에서의 토마토 대목을 생산하기 위한 적정 온도와 광도 조건 설정을 위해 광도 $200\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 이상의 조건에서 온도 및 광도 처리별 광이용효율(LUE)를 비교하였음
 - 온도 처리별 광도에 따른 LUE 비교 시 온도 23/20에서 광도 $200\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 조건의 LUE는 0.41, 온도 25/20에서 광도 $200\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 조건의 LUE는 0.42, 온도 27/20에서 광도 $200\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 조건의 LUE는 0.44로 높았음

표5. 광도 및 온도에 따른 토마토 접수의 생육 특성

| Temperature (°C) | Light intensity (mmol m ⁻² s ⁻¹) | Hypocotyl length(cm) | Shoot length (cm) | Shoot diameter (mm) | Leaf number | Leaf area (cm ²) | Shoot FW (g) | Shoot DW (g) | Dry Matter Content (%) | Compactness | DLI (mol m ⁻²) | LUE (mg/mol m ²) |
|------------------|---------------------------------------------------------|----------------------|-------------------|---------------------|-------------|------------------------------|--------------|--------------|------------------------|-------------|----------------------------|------------------------------|
| 23/20 | 100 | 5.5 d | 8.3 i | 1.7 ₉ g | 2.9 e | 12.04 h | 0.618 h | 0.050 g | 8.06 e | 6.13 f | 7.20 e | 0.5 ₄ a |
| | 150 | 6.2 bc | 9.1 h | 1.9 ₀ f | 2.9 e | 13.05 gh | 0.737 g | 0.051 g | 6.88 f | 5.62 fg | 10.80 d | 0.3 ₆ f |
| | 200 | 5.5 d | 10.2 fg | 2.2 ₆ c | 3.6 bc | 22.57 c | 1.237 bc | 0.104 c | 8.40 cde | 10.30 c | 14.40 c | 0.5 ₆ a |
| | 250 | 5.6 d | 9.9 g | 2.3 ₈ b | 3.9 ab | 23.73 bc | 1.320 b | 0.117 b | 8.89 bc | 11.94 b | 18.00 b | 0.5 ₀ abc |
| | 300 | 4.8 e | 8.4 i | 2.4 ₈ a | 3.8 ab | 27.03 a | 1.458 a | 0.149 a | 10.2 ₃ a | 18.05 a | 21.60 a | 0.5 ₃ a |
| 25/20 | 100 | 6.4 b | 10.7 ef | 1.8 ₈ f | 3.2 de | 15.02 fg | 0.718 gh | 0.049 g | 6.67 f | 4.56 g | 7.20 e | 0.5 ₂ ab |
| | 150 | 6.3 b | 12.6 a | 2.1 ₃ d | 3.8 ab | 21.70 c | 1.134 de | 0.075 e | 6.62 f | 6.01 f | 10.80 d | 0.5 ₄ a |
| | 200 | 5.7 cd | 11.8 bcd | 2.2 ₂ c | 3.8 ab | 22.57 c | 1.219 cd | 0.104 c | 8.53 cde | 8.81 d | 14.40 c | 0.5 ₅ a |
| | 250 | 5.3 d | 11.2 de | 2.4 ₂ ab | 4.0 a | 25.56 ab | 1.459 a | 0.122 b | 8.31 cde | 10.85 bc | 18.00 b | 0.5 ₂ ab |
| | 300 | 5.6 d | 11.8 bcd | 2.4 ₃ ab | 3.9 ab | 27.14 a | 1.495 a | 0.140 a | 9.37 b | 11.99 b | 21.60 a | 0.5 ₀ abc |
| 27/20 | 100 | 7 a | 12.6 a | 1.8 ₃ fg | 3.4 cd | 13.52 gh | 0.704 gh | 0.036 h | 5.13 g | 2.87 h | 7.20 e | 0.3 ₈ ef |
| | 150 | 6.1 bc | 12.3 ab | 2.0 ₃ e | 3.2 de | 17.03 ef | 0.961 f | 0.063 f | 6.44 f | 5.10 fg | 10.80 d | 0.4 ₅ cd |
| | 200 | 6.1 bc | 11.4 d | 2.0 ₉ de | 3.6 bc | 19.05 de | 1.046 ef | 0.085 de | 8.16 de | 7.55 e | 14.40 c | 0.4 ₆ bcd |
| | 250 | 5.8 dc | 11.6 cd | 2.0 ₇ de | 3.4 cd | 19.30 d | 1.067 e | 0.093 d | 8.75 cd | 8.13 de | 18.00 b | 0.4 ₀ dfe |
| | 300 | 5.4 d | 12.2 abc | 2.2 ₉ c | 4.0 a | 26.33 a | 1.497 a | 0.121 b | 8.12 e | 10.05 c | 21.60 a | 0.4 ₃ de |
| Significance | | | | | | | | | | | | |
| Temperature | | *** | *** | *** | *** | *** | *** | *** | *** | *** | NA | *** |
| Light intensity | | | *** | *** | *** | *** | *** | *** | *** | *** | *** | ** |
| Interaction | | *** | *** | *** | *** | *** | *** | *** | *** | *** | NA | *** |

표6. 광도 및 온도에 따른 토마토 대목의 생육 특성

| Temperature (°C) | Light intensity (mmol m ⁻² s ⁻¹) | Hypocotyl length(cm) | Shoot length (cm) | Shoot diameter (mm) | Leaf number | Leaf area (cm ²) | Shoot FW (g) | Shoot DW (g) | Root DW(g) | Dry Matter Content (%) | Compactness | DLI (mol m ⁻²) | LUE (mg/mol m ⁻²) |
|------------------|---------------------------------------------------------|----------------------|-------------------|----------------------|-------------|------------------------------|--------------|--------------|------------|------------------------|-------------|----------------------------|-------------------------------|
| 23/20 | 100 | 4.6 bcd | 9.1 f | 1.9 ₈ f | 3.4 b | 14.47 de | 0.697 e | 0.048 hi | 0.003 g | 6.8 ₂ e | 5.27 fg | 7.20 e | 0.5 ₁ ab |
| | 150 | 4.4 cdef | 9.7 ef | 2.1 ₀ ef | 3.3 b | 16.16 d | 0.876 d | 0.055 gh | 0.004 fg | 6.2 ₈ f | 5.71 f | 10.8 ₀ d | 0.3 ₉ ef |
| | 200 | 4.3 defg | 10.2 e | 2.4 ₁ c | 3.8 a | 19.29 c | 1.051 c | 0.077 e | 0.006 de | 7.3 ₆ c | 7.62 de | 14.4 ₀ c | 0.4 ₁ def |
| | 250 | 4.1 efg | 10.0 e | 2.4 ₈ bc | 4.0 a | 22.41 b | 1.186 b | 0.088 d | 0.007 cd | 7.4 ₁ c | 8.90 c | 18.0 ₀ b | 0.3 ₈ f |
| | 300 | 3.6 h | 9.3 f | 2.6 ₅ a | 4.0 a | 24.89 a | 1.471 a | 0.128 a | 0.010 a | 8.7 ₂ a | 13.84 a | 21.6 ₀ a | 0.4 ₆ cd |
| 25/20 | 100 | 4.6 bcd | 9.0 f | 1.8 ₃ g | 3.0 c | 13.22 e | 0.569 f | 0.042 i | 0.000 h | 7.3 ₄ c | 4.67 gh | 7.20 e | 0.4 ₅ cd |
| | 150 | 4.7 bc | 12.2 a | 2.2 ₄ d | 3.8 a | 18.64 c | 1.003 c | 0.068 f | 0.003 g | 6.7 ₄ e | 5.57 fg | 10.8 ₀ d | 0.4 ₈ bc |
| | 200 | 4.4 cde | 11.7 abc | 2.2 ₂ de | 3.9 a | 18.48 c | 1.072 c | 0.079 e | 0.005 de | 7.4 ₄ c | 6.82 e | 14.4 ₀ c | 0.4 ₂ def |
| | 250 | 3.9 hg | 11.1 cd | 2.5 ₉ ab | 4.0 a | 24.77 a | 1.412 a | 0.100 c | 0.005 ef | 7.0 ₇ cde | 9.10 c | 18.0 ₀ b | 0.4 ₃ de |
| | 300 | 4.0 fgh | 11.3 bcd | 2.6 ₁ ab | 4.0 a | 23.30 ab | 1.398 a | 0.115 b | 0.011 a | 8.2 ₅ b | 10.35 b | 21.6 ₀ a | 0.4 ₁ def |
| 27/20 | 100 | 5.6 a | 11.9 ab | 2.0 ₀ f | 3.2 bc | 13.81 e | 0.729 e | 0.051 h | 0.001 h | 6.9 ₃ e | 4.25 h | 7.20 e | 0.5 ₄ a |
| | 150 | 4.9 b | 11.3 bcd | 2.1 ₁ def | 3.3 b | 16.29 d | 0.875 d | 0.060 fg | 0.004 fg | 6.8 ₉ e | 5.34 fg | 10.8 ₀ d | 0.4 ₃ de |
| | 200 | 4.7 bc | 11.0 d | 2.4 ₀ c | 4.0 a | 18.17 c | 1.012 c | 0.081 de | 0.005 ef | 8.0 ₄ b | 7.47 e | 14.4 ₀ c | 0.4 ₄ cde |
| | 250 | 4.3 defg | 12.2 a | 2.5 ₅ ab | 4.0 a | 24.26 ab | 1.396 a | 0.102 c | 0.008 bc | 7.3 ₂ cd | 8.46 cd | 18.0 ₀ b | 0.4 ₄ cde |
| | 300 | 4.2 defg | 11.3 bcd | 2.4 ₈ bc | 4.0 a | 22.79 b | 1.385 a | 0.114 b | 0.009 b | 8.2 ₅ b | 10.20 b | 21.6 ₀ a | 0.4 ₁ def |
| Significance | | | | | | | | | | | | | |
| Temperature | | *** | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | *** | NA | NS |
| Light intensity | | | *** | *** | *** | *** | *** | *** | *** | *** | *** | *** | *** |
| Interaction | | NS | *** | *** | *** | ** | *** | *** | *** | *** | *** | NA | *** |

- 고추 접수의 경우 온도 및 광도에 따른 생육 비교 시 온도 조건 모든 처리구에서 광도가 높아질수록 경경, 엽면적 및 건물중은 증가하는 경향을 보였음
 - 모든 처리구에서 광도 $200\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 이상의 조건에서 건물중 비율 10% 이상, 건물중 0.07g 이상 및 모종 총실도 10 이상으로 묘소질이 우수하였음
- 인공광을 이용하는 식물공장형육묘시스템에서의 고추 접수를 생산하기 위한 적정 온도와 광도 조건 설정을 위해 광도 $200\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 이상의 조건에서 온도 및 광도 처리별 인공광 이용 대비 건물중 생산비를 나타내는 광이용효율(LUE)를 비교하였음
 - 온도 처리별 광도에 따른 LUE 비교 시 온도 23/20에서 광도 $200\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 조건의 LUE는 0.31, 온도 25/20에서 광도 $200\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 조건의 LUE는 0.38, 온도 27/20에서 광도 $200\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 조건의 LUE는 0.4로 높았음
- 고추 접수처럼 대목의 경우도 온도 및 광도에 따른 생육 비교 시 온도 조건 모든 처리구에서 광도가 높아질수록 경경, 엽면적 및 건물중은 증가하는 경향을 보였음
 - 모든 처리구에서 광도 $200\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 이상의 조건에서 건물중 비율 9.5% 이상, 건물중 0.12g 이상 및 모종 총실도 10.5 이상으로 묘소질이 우수하였음
- 인공광을 이용하는 식물공장형육묘시스템에서의 고추 대목을 생산하기 위한 적정 온도와 광도 조건 설정을 위해 광도 $200\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 이상의 조건에서 온도 및 광도 처리별 광이용효율(LUE)를 비교하였음
 - 온도 처리별 광도에 따른 LUE 비교 시 온도 23/20에서 광도 $200\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 조건의 LUE는 0.57, 온도 25/20에서 광도 $200\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 조건의 LUE는 0.53, 온도 27/20에서 광도 $200\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 조건의 LUE는 0.52로 높았음

표7. 광도 및 온도에 따른 고추 접수의 생육 특성

| Temperature (°C) | Light intensity (mmol m ⁻² s ⁻¹) | Hypocotyl length(cm) | Shoot length (cm) | Shoot diameter (mm) | Leaf number | Leaf area (cm ²) | Shoot FW (g) | Shoot DW (g) | Dry Matter Content (%) | Compactness | DLI (mol m ⁻²) | LUE (mg/mol m ⁻²) |
|------------------|---------------------------------------------------------|----------------------|-------------------|---------------------|-------------|------------------------------|--------------|--------------|------------------------|-------------|----------------------------|-------------------------------|
| 23/20 | 100 | 4.3 a | 8.0 f | 1.4 ₄ f | 3.7 e | 13.91 ef | 0.590 fg | 0.048 g | 8.07 c | 5.97 fgh | 7.20 f | 0.5 ₃ a |
| | 150 | 3.4 ab | 5.2 j | 1.3 ₅ g | 2.8 f | 9.04 g | 0.429 h | 0.048 g | 11.1 ₇ b | 9.11 e | 10.80 d | 0.2 ₆ e |
| | 200 | 3.6 ab | 7.2 hi | 1.6 ₃ cd | 3.7 e | 15.72 de | 0.692 e | 0.076 ef | 10.9 ₇ b | 10.68 cd | 14.40 c | 0.3 ₁ cde |
| | 250 | 3.3 b | 7.5 gh | 1.7 ₂ b | 4.0 cdε | 16.75 cd | 0.767 d | 0.084 de | 10.9 ₆ b | 11.28 cd | 18.00 b | 0.2 ₈ e |
| | 300 | 3.9 ab | 6.8 i | 1.8 ₆ a | 4.1 bcc | 18.70 abc | 0.886 abc | 0.113 a | 12.7 ₇ a | 16.81 a | 21.60 a | 0.3 ₁ cde |
| 25/20 | 100 | 4.4 a | 8.6 de | 1.5 ₂ e | 3.7 e | 12.34 f | 0.554 g | 0.047 g | 8.78 c | 5.51 gh | 7.20 e | 0.3 ₉ bc |
| | 150 | 3.8 ab | 8.5 de | 1.6 ₀ de | 3.9 de | 14.27 ef | 0.653 ef | 0.058 g | 8.89 c | 6.80 fg | 10.80 d | 0.3 ₁ cde |
| | 200 | 3.5 ab | 8.8 cd | 1.8 ₁ a | 4.2 bcc | 19.63 ab | 0.862 bc | 0.093 bcd | 10.8 ₆ b | 10.75 cd | 14.40 c | 0.3 ₈ bcd |
| | 250 | 3.1 b | 7.9 fg | 1.8 ₇ a | 4.1 cdε | 19.15 ab | 0.827 cd | 0.092 cd | 11.0 ₁ b | 11.68 bc | 18.00 b | 0.3 ₀ de |
| | 300 | 3.2 b | 8.1 ef | 1.8 ₇ a | 4.4 ab | 20.78 a | 0.917 ab | 0.104 ab | 11.6 ₆ b | 12.75 b | 21.60 a | 0.2 ₈ e |
| 27/20 | 100 | 4.3 a | 9.7 ab | 1.5 ₆ de | 3.9 cd | 13.06 f | 0.603 fg | 0.050 g | 8.18 c | 5.12 h | 7.20 e | 0.4 ₁ b |
| | 150 | 3.9 ab | 9.6 ab | 1.6 ₈ bc | 4.0 cdε | 18.24 bc | 0.776 d | 0.069 f | 8.87 c | 7.27 f | 10.80 d | 0.3 ₈ bcd |
| | 200 | 4.1 ab | 9.8 a | 1.8 ₂ a | 4.1 bcc | 20.42 ab | 0.864 bc | 0.097 bc | 11.1 ₉ b | 10.01 de | 14.40 c | 0.4 ₀ b |
| | 250 | 3.7 ab | 9.2 bc | 1.8 ₆ a | 4.4 ab | 19.35 ab | 0.884 abc | 0.096 bc | 10.7 ₃ b | 10.56 cd | 18.00 b | 0.3 ₂ cde |
| | 300 | 3.3 b | 9.5 ab | 1.8 ₆ a | 4.6 a | 20.08 ab | 0.955 a | 0.104 ab | 10.8 ₅ b | 10.96 cd | 21.60 a | 0.2 ₈ e |
| Significance | | | | | | | | | | | | |
| Temperature | | NS | *** | *** | *** | *** | *** | *** | ** | *** | NA | NS |
| Light intensity | | | *** | *** | *** | *** | *** | *** | NA | *** | *** | *** |
| Interaction | | NS | *** | *** | *** | *** | *** | *** | *** | *** | NA | *** |

표8. 광도 및 온도에 따른 고추 대목의 생육 특성

| Temperature (°C) | Light intensity (mmol m ⁻² s ⁻¹) | Hypocotyl length(cm) | Shoot length (cm) | Shoot diameter (mm) | Leaf number | Leaf area (cm ²) | Shoot FW (g) | Shoot DW (g) | Root DW(g) | Dry Matter Content (%) | Compactness | DLI (mol m ⁻²) | LUE (mg/mol m ⁻²) |
|------------------|---------------------------------------------------------|----------------------|-------------------|----------------------|-------------|------------------------------|--------------|-----------------------|------------|------------------------|-------------|----------------------------|-------------------------------|
| 23/20 | 100 | 4.4 b | 9.1 e | 1.7 ₈ g | 4.0 g | 18.00 e | 0.821 h | 0.07 ₁ f | 0.007 ef | 8.61 fg | 7.87 gh | 7.20 e | 0.5 ₈ ab |
| | 150 | 3.8 fg | 7.0 f | 1.7 ₃ g | 3.4 h | 12.89 f | 0.668 i | 0.07 ₀ f | 0.006 fg | 10.4 ₇ de | 10.03 ef | 10.8 ₀ d | 0.3 ₈ i |
| | 200 | 4.1 cde | 10.9 cd | 2.1 ₆ d | 4.4 ef | 23.64 d | 1.205 ef | 0.13 ₈ cd | 0.017 b | 11.5 ₁ bc | 12.72 bcd | 14.4 ₀ c | 0.5 ₇ abc |
| | 250 | 3.6 g | 8.8 e | 2.1 ₅ d | 4.7 de | 23.70 d | 1.109 g | 0.14 ₃ bc | 0.015 bcd | 12.8 ₃ a | 16.48 a | 18.0 ₀ b | 0.4 ₇ efg |
| | 300 | 3.2 h | 9.0 e | 2.2 ₃ bcd | 4.9 cd | 23.86 d | 1.151 fg | 0.14 ₀ cd | 0.013 dc | 12.0 ₅ b | 15.56 a | 21.6 ₀ a | 0.3 ₈ i |
| 25/20 | 100 | 4.9 a | 10.7 d | 1.7 ₉ g | 4.0 g | 19.29 e | 0.885 h | 0.07 ₂ f | 0.004 g | 8.13 g | 6.82 h | 7.20 e | 0.5 ₉ a |
| | 150 | 4.3 bc | 10.8 cd | 1.9 ₉ e | 4.2 fg | 23.24 d | 1.067 g | 0.09 ₇ e | 0.009 e | 9.09 f | 9.05 fg | 10.8 ₀ d | 0.5 ₃ bcd |
| | 200 | 3.9 ef | 11.3 bc | 2.1 ₉ cd | 5.0 cd | 27.54 c | 1.297 de | 0.12 ₈ d | 0.013 cd | 9.89 e | 11.39 de | 14.4 ₀ c | 0.5 ₃ bcd |
| | 250 | 3.3 h | 10.6 d | 2.2 ₁ bcd | 5.0 cd | 29.26 bc | 1.416 bc | 0.13 ₈ cd | 0.015 bc | 9.88 e | 13.13 bc | 18.0 ₀ b | 0.4 ₅ fgh |
| | 300 | 3.1 h | 10.6 d | 2.2 ₅ abc | 5.4 b | 28.73 bc | 1.356 cd | 0.14 ₈ abc | 0.019 a | 10.9 ₀ cd | 14.06 b | 21.6 ₀ a | 0.4 ₀ hi |
| 27/20 | 100 | 4.9 a | 11.1 cd | 1.8 ₈ f | 4.0 g | 19.60 e | 0.904 h | 0.07 ₄ f | 0.004 g | 8.19 g | 6.67 h | 7.20 e | 0.6 ₀ a |
| | 150 | 4.0 def | 11.7 b | 2.2 ₀ bcd | 4.8 cd | 27.62 c | 1.217 ef | 0.10 ₃ e | 0.008 ef | 8.47 fg | 8.86 fg | 10.8 ₀ d | 0.5 ₆ abc d |
| | 200 | 4.2 bcd | 11.9 b | 2.1 ₇ cd | 5.0 c | 28.17 c | 1.255 e | 0.12 ₈ d | 0.012 d | 10.1 ₇ de | 10.82 e | 14.4 ₀ c | 0.5 ₂ cde |
| | 250 | 4.0 de | 12.6 a | 2.2 ₉ ab | 5.8 a | 30.68 ab | 1.496 ab | 0.15 ₄ ab | 0.014 bcd | 10.2 ₄ de | 12.36 cd | 18.0 ₀ b | 0.5 ₀ def |
| | 300 | 3.2 h | 11.9 b | 2.3 ₄ a | 5.8 a | 32.79 a | 1.536 a | 0.15 ₇ a | 0.016 bc | 10.2 ₈ de | 13.40 bc | 21.6 ₀ a | 0.4 ₃ ghi |
| Significance | | | | | | | | | | | | | |
| Temperature | | *** | *** | *** | *** | *** | *** | ** | NS | ** | *** | NA | *** |
| Light intensity | | | *** | *** | *** | *** | *** | *** | *** | *** | *** | *** | *** |
| Interaction | | *** | *** | *** | *** | *** | *** | *** | *** | *** | NS | NA | *** |

- 식물공장형육묘시스템 이용 시 적정 온도 조건은 오이,수박 접수 및 대목 모두 기온 25/20℃(주간/야간), 광도 150 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 의 조건에서 모두 LUE가 높게 나와 생산 적정 조건으로 판단하였음
- 고추, 토마토 접수 및 대목 모두 기온 27/20℃, 광도 200 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 조건에서 LUE가 가장 높게 나왔지만, 현장 육묘 농가의 활용도와 편의성을 높이기 위해 각 작물별 온도에 따른 건물중, 모종 충실도 및 LUE 등을 고려하여 적정 온도 조건을 25/20℃라 판단하였음
- 식물공장형육묘시스템 실증을 위한 설치 대상 육묘장 선정
 - 육묘산업연합회 식물공장육묘형시스템 실증연구 협조 요청을 진행하였음
 - 강원 2곳, 경기 1곳, 경남 1곳, 경북 2곳, 호남 1곳, 충남 1곳으로 총 8곳에 협조 요청을 하였음(표9) → 총 8곳 중 호반영농조합 및 내장산프러그영농조합 2곳에 현장 방문하여 최종 결정을 하였음

표9. 사단법인 한국육묘산업연합회 회원명단

| 지역 | 상호 | 대표자 | 우편번호 | 주소 | |
|----------|------------|---------|------------|--------------|------------|
| 강원 | 고**육묘장 | 박*순 | 2517* | 강원도 홍천군 내면 | |
| | 대**영농조합 | 목*서 | 2534* | 강원도 평창군 대관령면 | |
| | 대**프러그 | 김*훈 | 2534* | 강원도 평창군 대관령면 | |
| | 춘*프러그육묘장 | 손*현 | 2420* | 강원도 춘천시 신북읍 | |
| | 호*영농조합 | 김*교 | 2421* | 강원도 춘천시 동면 | |
| 경기 | C*종묘(주) | 신*철 | 1740* | 경기도 이천시 모가면 | |
| | 안*영농조합 | 이*각 | 1759* | 경기도 안성시 | |
| | 알*육묘장 | 최*배 | 1740* | 경기도 이천시 모가면 | |
| | 여*육묘장 | 안*주 | 1266* | 경기도 여주시 가남읍 | |
| | 중*프러그 | 조*선 | 2781* | 충북 진천군 이월면 | |
| | 티*영농조합 | 김*래 | 2781* | 충북 진천군 이월면 | |
| | 평*프러그육묘 | 최*근 | 1771* | 경기도 평택시 | |
| | 포*원예영농조합 | 안*원 | 1796* | 경기도 평택시 | |
| | 경남 | 그*육묘장 | 하*봉 | 5203* | 경남 함안군 |
| | | 남지**육묘장 | 김*호 | 5035* | 경남 창녕군 남지읍 |
| 상*종묘 | | 하*호 | 5045* | 경남 밀양시 상남면 | |
| 상*프러그 | | 이*화 | 5045* | 경남 밀양시 초동면 | |
| 새**프러그 | | 강*수 | 5044* | 경남 밀양시 상남면 | |
| 양*농원 | | 허*석 | 5273* | 경남 진주시 초전동 | |
| 영농법인*** | | 김*식 | 5045* | 경남 밀양시 상남면 | |
| 으*프러그육묘장 | | 최*우 | 5262* | 경남 진주시 금산면 | |
| (주)*린텍 | | 이*후 | 5040* | 경남 밀양시 부북면 | |
| 진*육묘장 | | 김*일 | 5273* | 경남 진주시 | |
| 청*원 | | 문*곤 | 5263* | 경남 진주시 집현면 | |
| 초*육묘장 | | 하*태 | 5262* | 경남 진주시 금산면 | |
| 푸*육묘 | | 전*석 | 5040* | 경남 밀양시 상동면 | |
| 하*공정육묘장 | 정*태 | 5232* | 경남 하동군 횡천면 | | |
| 경북 | 경*육묘장 | 홍*복 | 4003* | 경북 성주군 성주읍 | |
| | 경*육묘장 | 차*학 | 3991* | 경북 칠곡군 왜관읍 | |
| | 군*육묘장 | 안*석 | 3901* | 경북 군위군 군위읍 | |
| | 성*육묘장 | 장*기 | 4003* | 경북 성주군 성주읍 | |
| | 성주**육묘장 | 김*호 | 4005* | 경북 성주군 대가면 | |
| | 성주**육묘장 | 배*화 | 4005* | 경북 성주군 대가면 | |
| | 청도**육묘영농조합 | 정*갑 | 3832* | 경북 청도군 화양읍 | |
| 호남 | 남*육묘장 | 장*철 | 5823* | 전남 나주시 남평읍 | |
| | 구*육묘장 | 최*범 | 5763* | 전남 구례군 문척면 | |
| | 내**프러그영농조합 | 최*근 | 5621* | 전북 정읍시 입암면 | |
| | 담*육묘장 | 박*주 | 5736* | 전남 담양군 봉산면 | |
| | 대*프러그 | 이 * | 5646* | 전북 고창군 대신면 | |
| | 도*육묘장 | 하*곤 | 5815* | 전남 화순군 도곡면 | |
| 동*육묘장 | 이*진 | 5433* | 전북 김제시 금구면 | | |

| | | | | |
|----|-----------|-----|-------|------------|
| | 번*육묘사업소 | 이*경 | 5821* | 전남 나주시 산포면 |
| | 성*그린텍육묘 | 송*홍 | 5791* | 전남 순천시 상사면 |
| | 성*육묘장 | 우*완 | 5823* | 전남 나주시 남평읍 |
| | 영*강프러그 | 정*권 | 5822* | 전남 나주시 산포면 |
| | 장*육묘영농조합 | 김*준 | 5722* | 전남 장성군 황룡면 |
| | 함*나비골육묘장 | 정*호 | 5712* | 전남 함평군 월야면 |
| | 함*육묘장 | 이*주 | 5712* | 전남 함평군 월야면 |
| | 화**마음프러그 | 정*근 | 5815* | 전남 화순군 도곡면 |
| | 영*프러그 | 김*호 | 5703* | 전남 영광군 군서면 |
| 충남 | 공주**영농조합 | 이*덕 | 3251* | 충남 공주시 정안면 |
| | 구*육묘장 | 전*구 | 3292* | 충남 논산시 성동면 |
| | 노*영농조합 | 김*식 | 3292* | 충남 논산시 광석면 |
| | 논*육묘장 | 박*순 | 3301* | 충남 논산시 연무읍 |
| | **프러그영농조합 | 이*삼 | 3290* | 충남 논산시 노성면 |
| | 대*육묘장 | 최*엽 | 3201* | 충남 서산시 인지면 |
| | 대*육묘장 | 연*홍 | 3419* | 대전광역시 유성구 |
| | 부*프러그육묘장 | 이*경 | 3319* | 충남 부여군 홍산면 |
| | 부여**육묘장 | 정*교 | 3312* | 충남 부여군 규암면 |
| | 사**영농조합 | 박*년 | 3251* | 충남 공주시 의당면 |
| | 성*영농조합 | 조*근 | 3292* | 충남 논산시 성동면 |
| | 세*프러그 | 이*원 | 3323* | 충남 부여군 세도면 |
| | 아*썰타육묘 | 안*원 | 3147* | 충남 아산시 배방면 |
| | 양*육묘장 | 이*복 | 3302* | 충남 논산시 양촌면 |
| | 은*프러그 | 김*환 | 3299* | 충남 논산시 은진면 |
| | 저*육묘장 | 김*환 | 3312* | 충남 부여군 부여읍 |
| | 제*육묘장 | 윤*로 | 3290* | 충남 논산시 노성면 |
| | 지*육묘장 | 최*호 | 3299* | 충남 논산시 |
| | 한*육묘장 | 김*영 | 3290* | 충남 논산시 상월면 |

○ 식물공장형육묘시스템 설치 관련 현장 방문

- 호*육묘장 내 식물공장형육묘시스템 설치 관련 논의

- * 위치 : 강원도 춘천시 동면
- * 생산모종 : 오이, 토마토, 수박, 멜론, 파프리카, 호박 등(연간 2000만 주 이상)
- * 규모 : 유리온실 : 6000m²(1,815평), 하우스 : 2만4000m²(7,260평)
- * 모듈 설치 전 육묘장 바닥 콘크리트 작업 및 샌드위치 패널 공사 필요
- * 겨울철 동파 방지 등의 문제점 보안을 위해 양액탱크 실내 설치 필요



그림1. 호*영농조합법인 육묘장

- 내**육묘장 내 식물공장형육묘시스템 설치 관련 논의

- * 위치 : 전북 정읍시 입암면
- * 생산 모종 : 수박, 고추, 배추, 토마토 등

* 규모 : 7603m²(2,300평)

* 모듈 설치 전 샌드위치판넬 공사 및 기동 이동 작업 필요



그림2. 내*산프로그래영농조합법인 육묘장

- 현장 실증을 위해 이동 편의성, 작업 편의성 등을 고려하여 호*육묘장 내 식물공장형육묘시스템을 설치하기로 결정함

(2) 관행의 접수/대목 생산 공정과의 성장 기간 및 에너지 효율 분석

- 2017년 접목묘 생산실태 조사 결과 보고서(국립원예특작과학원, 2017)에 나타난 관행 과채류 접수 및 대목 육묘일수와 본 연구에서 실시한 식물공장형육묘시스템 육묘일수 비교 결과, 식물공장형육묘시스템 육묘일수가 고추, 토마토, 오이 및 수박에서 각각 43, 36, 21 및 35일로 나타남(표10)
- 육묘일수를 단축시켜 연중 안정적인 생산량 확보가 가능할 것이며, 계절과 상관없이 출하시기를 맞출 수 있기에 육묘 농가에서 상당한 수요가 있을 것으로 기대됨

표10. 접목묘 생산 단계별 육묘일수 비교(국립원예특작과학원, 2017)

| 작물 | 파종 발아 | 2017년 농진청 | | | | | | 2014년 | 식물공장형 | | |
|-----|----------|-------------|------|-------|-------------|------|---------|-------|-------|----------|-------|
| | | 1차 육묘(접목 전) | | 접목 활착 | 2차 육묘(출하 시) | | 총 육묘 일수 | 원광대 | 육묘시스템 | | |
| | | 여름 | 겨울 | | 여름 | 겨울 | | | | 적정 육묘 일수 | 육묘 일수 |
| 고추 | 접수 | 3.7 | 22.3 | 34.5 | 5.3 | 17.7 | 22.5 | 49.0 | 66.5 | 45-55 | 43 |
| | 대목 | 3.7 | 23.7 | 37.0 | | | | | | | |
| 토마토 | 접수 | 2.7 | 19.5 | 23.8 | 5.3 | 16.3 | 24.2 | 43.8 | 56.0 | 40-50 | 36 |
| | 대목 | 2.7 | 20.2 | 26.4 | | | | | | | |
| 오이 | 접수 | 1.3 | 7.7 | 13.3 | 5.7 | 8.7 | 12.3 | 23.3 | 32.7 | 30-40 | 21 |
| | 대목 | 1.7 | 8.0 | 13.7 | | | | | | | |
| 수박 | 접수 | 2.3 | 11.0 | 11.8 | 5.5 | 20.0 | 28.0 | 38.8 | 47.5 | 45-55 | 35 |
| | 대목 | 3.3 | 10.0 | 11.0 | | | | | | | |

- 관행의 겨울철 접수 및 대목 생산 시 소비되는 에너지 비용
 - 관행 재배시 주 에너지 소비 비용은 온도조절을 위한 난방비이며, 이는 난방부하를 통해 계산하였음

* 단동하우스 규격: 5m*40m*2.5m(폭*길이*높이, 식물공장형육묘시스템 1실 생산량 기준 120트레이)

* 온도관리 조건 주간/야간 기온: 25/20℃

- 토마토 기준 24일 동안 육묘 시 약 2,040,000원 소비

○ 식물공장형육묘시스템 접수 및 대목 생산 시 소비되는 에너지 비용

- 식물공장형육묘시스템의 경우 외부기상을 차단하기 때문에 주 에너지 소비 비용은 LEDs 광원을 통해서 사용하는 전기 비용임

* 식물공장형육묘시스템 적용 LEDs tube: 28W, 총 150개

* 주간 길이 16시간 설정

- 토마토 기준 13일 동안 육묘 시 약 52,416원 소비하며, 실내 난방비용 또한 월등히 적을 것이기에 관행 육묘에 비해 훨씬 적은 비용이 필요할 것으로 판단됨

(3) 식물공장형육묘시스템의 현장 실증 모델 설계

○ 식물공장형육묘시스템 현장실증 모델

- 식물공장형육묘시스템 모델은 재배 베드와 부대 장치로 갖추어져 있는 일반적인 육묘장을 참고하였으며, 파종(발아) : 묘종 생산 : 재배면적 비율은 대략 1:10:50으로 구성할 수 있음

- 층별 각 선반은 너비가 1-2m, 평균 약 1.5m로 구성되어 있으며, 각 층의 길이는 재배실의 크기에 따라 다르게 설계되어 있고 층 사이의 수직 거리는 30-100cm, 평균은 약 50cm로 설계되었음

- 통로의 너비는 평균 1m이지만 정식 및 수확 방법에 따라 유동적으로 변환될 수 있으며, 현 식물공장형육묘시스템에서는 공간을 효율적으로 이용하기 위해 1m 미만으로 설정하였음

- 정식과 수확은 양쪽 끝에서 진행되며, 통로는 재배 베드의 유지·보수 및 청소에 활용됨

- 에어컨 및 공기 순환 팬의 공기 유출 방향은 재배 모듈의 층의 방향과 동일해야 하며, 온도, 수증기압포차(VPD), 기류속도, CO₂ 농도 등의 균일한 수직 분포를 얻기 위해 실내 공기를 수직으로 이동시키는 구조를 적용하였음(Chun and Kozai et al., 2000)

○ 식물공장형육묘시스템 장비 및 센서

- 표3은 설계된 육묘실에 설치된 장비와 센서목록으로 육묘판, 수확된 농산물, 식물 잔류물, 포장 상자 등을 운반하기 위한 이동식 카트를 포함하며, 각 층별로 육묘판을 올리고 내리기 위해 이동식 리프트도 포함하였음

- 밀폐형 식물생산시스템으로 기상 조건에 무관하게 광도, 명기, 광질, 온도, 습도, CO₂ 농도, 기류속도, 양액 성분농도 등의 환경요인을 안정적으로 제어하는 장비를 구축하였음

- 상대습도 70% 전후로 유지하여 병해 발생 최소화 및 식물의 광합성 및 생육 촉진 가능함

- 광합성 촉진을 위해 외부 CO₂ 농도보다 1,500-2,000ppm 높게 유지 가능함

- 설치된 광원으로부터의 발열을 통한 겨울철 난방비 절감 가능함

○ 식물공장형육묘시스템의 환경요인을 제어하기 위해 조명장치, 공조기기(에어컨 및 송풍팬), 양액관리장치(양액, 미생물 살균장치 포함)를 갖추고 환경요인 센서 이외에도 전기 소비량, 급·배액량 계측을 포함한 통합환경제어 실시함

- 지속가능한 생산시스템 / 고수량·고품질과 자원절약·환경보전의 양립의 장점을 가짐

- 경상적으로 건전하고 작업자의 쾌적함을 유지할 수 있음

표11. 수직형 식물공장(PFALs) 설치 장비 및 환경 센서(Kozai et al., 2019)

| 카테고리 | 장비 및 환경 센서 |
|--------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 전기 공급 | 배전함, 차단기 및 계전기 |
| 공기 조절 | 냉매 배관이 있는 에어컨 내부 유닛 배수된 물의 재활용 사용을 위한 배관 공기 순환 팬 실제/설정 온도 표시 장치 필터와 오존(O ₃) 가스 발생기가 있는 공기 청정기 |
| 양액 공급 | 순환 펌프가 있는 배양 베드 스트레이너 및 밸브가 있는 배관 살균 장치(필터, UV램프, O ₃ 가스 발생기) 플로팅 스위치가 있는 탱크 및 원액 탱크 민수용 또는 정수용 배관, 비상방수용 배수용 배관 |
| 빛 | 반사경이 있는 광원 전력 안정기, 인버터 및 AC-DC 컨버터 |
| CO ₂ 공급 | 분배 튜브가 있는 제어 장치 |
| 위생 제어 | 배양 패널의 세척/청소 기계 바닥 및 배양 베드용 세척 도구 실내 공기 청정기 |
| 환경제어 센서 | 공기: 온도, 상대 습도(VPD), CO ₂ 농도 및 CO ₂ 공급율 양액: pH, EC(전기전도도), 온도, 급수율, 양액순환유량 전기 에너지: 전력계, 전력량계 |

○ 식물공장형육묘시스템의 구성

- 표12는 인공조명 및 식물생산 시스템을 갖춘 식물공장 유형으로 이식 생산을 위해 설계 및 운영되며 번식된 식물의 순응과 증식에도 사용될 수 있도록 구성되었음
- 96개의 플러그 트레이(폭:30cm, 길이:60cm)를 수용할 수 있으며, 각각 100개 또는 200개의 셀이 있는 플러그 트레이를 사용하여 한 번에 9,600개, 19,200개의 묘목을 생산할 수 있음
- 단열벽을 통해 냉난방 효율을 극대화하고, 식물의 광합성 촉진을 위해 가압 용기의 액체 CO₂를 농도에 맞게 조절하여 공급할 수 있음
- 밀폐형 시스템에서는 기류속도가 크기 때문에 환기를 통해 온·습도 조절이 가능한 에어컨을 설치하여 작물의 균락 내 상대 습도를 유지하는 것이 가능함
- 밀폐형 식물공장 시스템은 기후에 무관하게 연중 최적의 환경 조건을 작물에게 제공할 수 있으며 다음과 같은 용도로 유용하게 사용될 수 있음
- 해충 및 병원균에 대한 피해를 경감할 수 있으며 무농약 작물생산이 가능하기 때문에 보전 기간이 길고 소비자가 수돗물 등에 바로 씻어서 먹을 수 있음(Shimizu, 2016)
- CO₂ 농도를 포함한 환경을 최적으로 제어하여 온실을 사용하는 것보다 생산 기간을 30-40% 단축할 수 있음(Ting et al., 2016)
- 단위 토지 면적당 연간 이식 생산성이 증가함
- 위험 물질의 반입, 고의의 건물 파괴 및 도난을 막기 쉬움

표12. 식물공장형육묘시스템 주요 구성 요소(Kozai et al., 2019 참고)

| 구성 | 내용 |
|----------|------------------------------------------------------|
| 창고형 구조 | 방충망이 있는 단열벽 |
| 다층 유닛 | 방충망이 있는 단열벽층, 조명시스템, 양분 분배 파이프, 거터, 플러그 트레이 및 공기 순환팬 |
| 에어컨 | 내부장치, 외부장치 및 배관 |
| CO2 공급장치 | CO2 센서, 액체 CO2 컨테이너, 솔레노이드 밸브 배관, 압력 게이지 |
| 양액 공급장치 | 양액태요, 원액탱크, 순환펌프, 혼합펌프 및 배관 |
| 환경 조절장치 | 온도, CO2, 광주기, E, 양액의 pH 및 온도, 관수 주기 제어 장치 |
| 기타 | 방충망 |

○ 식물공장형육묘시스템 설치 시 유의 사항

- 식물공장형육묘시스템 내 사용 광원은 작목마다 선호하는 광 파장대가 달라 광질 조사를 통해 적합한 광원을 선정하는 것이 중요함
- 식물은 가시광선 영역에서 광합성 및 형태형성이 이루어지며, 특히 광합성은 특정 파장대에서 활발해짐(chlorophyll a의 경우 440nm 및 660nm, chlorophyll b의 경우 460nm 및 620nm 에서 가장 활발함) → 이 특성을 고려하여 460nm 및 660nm 피크를 기준으로 태양광과 가장 유사한 광원을 선정하여 모듈 내에 설치할 수 있음
- 이외에도, 광원의 파장을 생육 단계에 따라 바꾸어 조사해주는 기술 또한 개발, 사용되고 있음
- 광원의 선택은 초기 투자비용, 생산 가동 비용에 상당한 영향을 끼치므로 가격, 소모전력 등을 함께 고려해서 선정할 필요가 있음

표13. 파장 별 식물 반응의 특징

| 분류 | 파장(nm) | 특징 |
|---------------------|----------|------------|
| 자외선(Ultraviolet) | 100-380 | |
| UV-C | 100-280 | 살균 |
| UV-B | 280-320 | 일광 화상 |
| UV-A | 320-380 | |
| 가시광선(Visible) | 380-780 | 광합성 및 형태형성 |
| 원적외선(Far red) | 700-800 | 형태형성 |
| 근적외선(Near-infrared) | 780-2500 | 열 |
| 적외선(infrared) | 2500+ | 열 |

○ 호*육묘장에 구축된 식물공장형육묘시스템의 규격 및 특징

- 호*육묘장에 구축된 식물공장형육묘시스템은 육묘실, 준비실, 관리실, 전실로 구성되어 있음(그림3)
- 항온항습시스템으로 온도, 습도, 기류 등을 제어할 수 있으며, 복합환경제어 컨트롤러(Programmable Logic Controller)를 적용하였음
- 각 매뉴얼을 통해 쉽게 조작할 수 있도록 입출력부 디스플레이를 디자인하였음



식물공장형육묘시스템 전실



식물공장형육묘시스템 육묘실

그림3. 호*육묘장 내 식물공장형육묘시스템 전경

○ 식물공장형육묘시스템 규격(표14)

- 과채류 접수 및 대목 생산이 가능하며, 모듈 규격은 1,357×745×2,195mm인 5단으로 구성되어 있음
- 육묘베드 규격은 1,225×745×80mm로 4개의 육묘 트레이를 배치할 수 있음
 - * 4개 육묘 트레이*5단 모듈 총 6개*육묘실 4개 → 총 480개 육묘 트레이 배치 가능
- 관행 육묘의 경우, 동일 면적 내 96개 육묘 트레이 재배 가능하며, 식물공장형육묘시스템으로 육묘 재배시 400% 추가 생산이 가능함

표14. 호*육묘장 내 식물공장형육묘시스템 규격

| 구분 | | 내용 |
|-----------------|---------|-------------------------------|
| 식물공장형육묘시스템실 크기 | | 4525mm*3037mm (4ROOM) |
| 육묘 모듈 규격 | | 1,357mm*745mm*2,195mm |
| 스티로폼 베드 규격 및 개수 | | 1225mm*745mm*80mm, 30EA*4ROOM |
| LED로부터의 거리 | 바닥 | 300mm |
| | 스티로폼 베드 | 260mm |
| | 트레이 | 210mm |

2) 식물공장형육묘시스템 이용 과채류 접수/대목 생산 경제성 평가 및 개선 사항

(1) 경제성 평가 및 기대효과 분석

- 육묘업체 생산·판매의 중심인 채소 묘의 경우 업체당 평균 생산량이 가장 많은 작목은 양파 묘로 평균 52만 2천 주임
- 다음으로 배추 묘가 44만 7천 주, 양배추 묘 36만 7천 주, 고추 묘가 34만 4천 주, 양

상추 묘는 26만 8천 주, 수박 묘 25만 6천 주, 토마토 묘 22만 1천 주 등의 순임. 육묘 업체의 업체당 전체 채소 묘 생산량은 367만 8천 주인 것으로 분석됨

- 육묘업체의 2018년 기준 채소묘 총 생산량은 8억 3,372만 주이며, 이 가운데 고추 묘가 전체생산량의 21.9%인 1억 8,229만 주를 생산하였음
- 배추 묘는 1억 7,026만 주를 생산하여 20.4%의 비중을 차지하며, 양파 묘는 12.4%인 1억 327만 주를 생산하여 이들 세 품목이 전체의 54.7%를 점유하고 있음
 - 다음으로 토마토 묘 생산량이 6,201만 주(7.4%), 양배추 묘 4,656만 주(5.6%), 수박묘 4,610만 주(5.5%), 오이 묘 4,385만 주(5.3%), 상추 묘 4,055만 주(4.9%) 등의 순으로 조사됨

표15. 육묘업체의 주요 작목별 채소 묘 생산량 및 판매액(KREI, 2019)

단위: 만 주, 만 원

| 구분 | 업체당 평균 | | 총 생산량 및 판매액 | |
|------|--------|----------|-------------|------------|
| | 생산량 | 판매액 | 생산량 | 판매액 |
| 고추 | 34.4 | 5,611.4 | 18,229 | 2,974,050 |
| 배추 | 44.7 | 2,561.0 | 17,026 | 975,730 |
| 양배추 | 36.7 | 1,845.9 | 4,656 | 234,434 |
| 양파 | 52.2 | 1,385.4 | 10,327 | 274,304 |
| 수박 | 25.6 | 12,531.5 | 4,610 | 2,255,679 |
| 호박 | 6.1 | 1,662.8 | 1,215 | 330,906 |
| 오이 | 16.9 | 5,885.0 | 4,385 | 1,530,110 |
| 토마토 | 22.1 | 9,640.4 | 6,201 | 2,699,314 |
| 참외 | 4.8 | 1,872.3 | 563 | 219,061 |
| 멜론 | 10.4 | 4,267.5 | 415 | 170,700 |
| 가지 | 4.3 | 1,197.3 | 859 | 240,661 |
| 양상추 | 26.8 | 1,236.5 | 1,555 | 71,718 |
| 상추 | 18.5 | 2,157.0 | 4,055 | 472,392 |
| 샐러리 | 14.7 | 1,668.5 | 530 | 60,065 |
| 파프리카 | 2.6 | 1,027.9 | 193 | 77,094 |
| 피망 | 3.9 | 759.6 | 223 | 43,300 |
| 기타 | 43.2 | 3,671.5 | 3,331 | 708,597 |
| 계 | 367.8 | 58,981.5 | 83,372 | 13,338,115 |

* 주: 업체당 평균 생산량 및 판매액은 해당 작목의 묘를 생산하거나 판매한 실적이 있는 육묘업체만을 대상으로 산정한 수치임

* 자료: 종자산업 현황 조사결과(2018년 기준 육묘업 실태조사결과)

- 2018년 기준 채소 묘 총 판매액은 1,333억 8,115만 원으로 전체 묘 생산액의 81.7%에 해당함. 판매액 기준으로는 고추 묘가 297억 4,050만 원으로 22.3%를 차지하여 생산량 기준과 마찬가지로 가장 높은 비중을 보임
- 다음으로 토마토 묘가 20.2%인 269억 9,314만 원, 수박 묘는 255억 5,679만 원으로 16.9%, 오이 묘의 경우 11.5%인 153억 110만 원의 판매액을 기록하고 있음
 - 토마토 묘, 수박 묘, 오이 묘의 경우 생산량 기준 비중으로는 각각 7.4%, 5.5%, 5.3%로 나타나 이들 작목은 판매단가가 타 작목에 비해 높으며 판매액 기준으로는 이들 네 작목이 전체에서 70.9%의 비중을 차지함
 - 생산량 기준의 비중이 높은 배추 묘는 판매액이 97억 5,730만 원으로 7.3% 수준이며, 양파 묘는 2.1%에 불과한 27억 4,304만 원으로 조사됨

- 대체로 과채류 묘는 판매 단가가 높아 판매액이 큰 반면, 생산량이 많아도 단가가 낮은 채소류 묘는 판매액이 작은 상황임
- 육묘업체가 생산하는 채소 묘의 접목 및 실생 비율을 주요 작목별로 살펴보면, 생산량이 가장 많은 고추 묘의 경우 접목 비율이 21.8%, 실생 비율은 78.2%로 나타나 상당량의 묘는 실생으로 생산되는 실정임
- 배추 묘와 양배추 묘, 양상추 묘는 100% 실생이며, 샐러리 묘의 시생 비율은 98.1%로 나타나는 엽근채류 묘는 대부분 실생임
 - 반면, 접목 비율은 수박 묘가 95.4%, 오이 묘 74.7%, 토마토 묘는 57.8%로 나타나 타 작목에 비해 상당히 높은 편임
 - 과채류 묘의 접목 비율이 높기 때문에 판매단가가 엽채류나 양념채소류 묘보다 비쌀 수밖에 없어 판매액이 큰 것으로 판단됨
- 채소 묘의 예비묘 생산율은 접목과 실생에 관계없이 작목에 따라 상이한 특징이 나타나며 고추 접목묘의 경우 예비묘 생산율이 5.2%인데, 실생묘는 7.6%로 더 높음
- 대부분 실생묘인 배추, 양배추, 양상추, 상추, 샐러리 묘의 실생 예비묘 생산율은 2~7% 내외임
- 과채류 가운데 접목 비율이 높은 수박묘, 오이 묘, 토마토 묘는 접목묘의 예비묘 생산율이 10~12%이며, 실생묘의 경우 수박 묘와 토마토 묘의 예비묘 생산율은 9%대이며, 오이 묘는 4.6% 조사됨
 - 과채류임에도 접목보다는 실생 비율이 높은 파프리카 묘와 피망 묘의 경우 접목묘의 예비묘 생산율이 2~3% 내외이나, 실생묘는 7~13%로 더 높음

표16. 육묘업체의 채소 묘 접목·실생 비율 및 예비묘 생산율(KREI, 2019)

| 구분 | 접목 및 실생 비율 | | | 예비묘 생산율 | |
|------|------------|-------|-------|---------|------|
| | 접목 | 실생 | 계 | 접목 | 실생 |
| 고추 | 21.8 | 78.2 | 100.0 | 5.2 | 7.6 |
| 배추 | 0.0 | 100.0 | 100.0 | - | 4.6 |
| 양배추 | 0.0 | 100.0 | 100.0 | - | 7.0 |
| 양파 | 1 | 99.0 | 100.0 | 0.3 | 5.9 |
| 수박 | 95.4 | 4.6 | 100.0 | 10.9 | 9.8 |
| 호박 | 41 | 59.0 | 100.0 | 7.2 | 4.5 |
| 오이 | 74.7 | 25.3 | 100.0 | 11.0 | 4.6 |
| 토마토 | 57.8 | 42.2 | 100.0 | 12.1 | 9.1 |
| 참외 | 36.1 | 63.9 | 100.0 | 3.6 | 2.7 |
| 멜론 | 16.5 | 83.5 | 100.0 | 1.2 | 5.2 |
| 가지 | 42.7 | 57.3 | 100.0 | 7.2 | 4.8 |
| 양상추 | 0.0 | 100.0 | 100.0 | - | 4.4 |
| 상추 | 1.4 | 98.6 | 100.0 | 0.2 | 7.4 |
| 샐러리 | 1.9 | 98.1 | 100.0 | 0.2 | 2.4 |
| 파프리카 | 27.2 | 72.8 | 100.0 | 2.4 | 13.0 |
| 피망 | 33.5 | 66.5 | 100.0 | 2.5 | 6.5 |

* 주 1) 해당 작목의 묘를 생산하거나 판매한 실적이 있는 육묘업체만을 대상으로 산정한 수치임

2) 각 작목별 접목 및 실생 비율은 육묘업체별 생산량을 기준으로 평균한 값임

* 자료: 종자 산업 현황 조사결과(2018년 기준 육묘업 실태조사결과)

- 관행 및 식물공장형육묘시스템 이용 접수/대목 경제성 비교
 - 관행 모종 생산 원가 및 단가는 육묘업체의 경영비 소요, 생산량 및 판매액(국가통계포

털, 2018)을 분석하여 추정하였으며, 식물공장형육묘시스템 모종 생산 원가 및 단가는 162 트레이 기준 모종 생산 시 들어가는 운영비용을 통해 추정하였음

- 식물공장형육묘시스템 작목별 모종 1주 생산시 들어가는 광열 동력량은 다음과 같음
 - * 고추: 0.059kWh, 토마토: 0.045kWh, 수박: 0.024kWh, 오이: 0.021kWh
 - * 농사용전력(을) 요금 kWh 당 34.2원(한국전력공사, 2021)을 적용함
 - * 인건비의 경우 관행 1차 육묘 관리 직원 비율 7.1%만큼 절약 가능할 것임(총 직원 70명 중 5명)
 - * 식물공장형육묘시스템에 들어가는 유지보수 관리비는 관행의 80%로 책정하였음
- 겨울철 식물공장형육묘시스템 고추 육묘기간은 관행 대비 육묘일수가 약 35.3%(23.5일)만큼 짧으므로 관행 대비 35.3%만큼 추가 출하가 가능함
- 토마토의 경우 관행 대비 육묘일수가 약 35.7%(20일)만큼 짧으므로 관행 대비 35.7%만큼 추가 출하가 가능함
- 수박의 경우 관행 대비 육묘일수가 약 26.3%(12.5일)만큼 짧으므로 관행 대비 26.3%만큼 추가 출하가 가능함
- 오이의 경우 관행 대비 육묘일수가 약 35.8%(11.7일)만큼 짧으므로 관행 대비 35.8%만큼 추가 출하가 가능함
- 감가상각비는 도심형 스마트팜 확산 및 운영 모델 수립 연구(김성겸 등, 2021)를 참조하여 감가상각비 부가 전 원가의 10%로 책정하여 최종 원가를 산정하였음
- 현장실증 결과에 따른 식물공장형육묘시스템 내 고추 모종 생산 시 수익 추정은 관행 대비 약 425%의 수익을 올릴 수 있다고 추정됨(표17)

표17. 관행 및 식물공장형육묘시스템 고추 모종 생산 단가 비교(국가통계포털, 2018)

| 구분 | 관행(원) | 식물공장형육묘시스템(원) |
|-----------|--------------------|----------------------|
| 종자비 | 28.1 | 28.1 |
| 비료/양액비 | 5.8 | 5.8 |
| 농약비 | 5.3 | 5.3 |
| 광열 동력비 | 6.8 | 2.0 |
| 트레이 구입비 | 6.5 | 6.5 |
| 상토비 | 13.6 | 13.5 |
| 인건비 | 31.8 | 29.5 |
| 육묘시설 수리비 | 7.5 | 6.0 |
| 감가상각비 | 0 | 10.2 |
| 기타 | 5.2 | 5.2 |
| 생산 원가(/주) | 110.6 | 112.1 |
| 생산 단가(/주) | 163 | 163 |
| 생산량(주) | 15,360 (128×120×1) | 82,944(128×480×1.35) |
| 판매액(원) | 2,503,680 | 13,519,872 |
| 수익(원) | 804,864 | 4,221,950 |

* 생산량: 트레이 128구×동일 면적 육묘 가능 트레이 수×동일 기간 육묘 가능 횟수

* 자료: 육묘업체의 경영비 소요 비율 및 경영비 항목별 비율, 육묘업체의 연간 판매액

- 현장실증 결과에 따른 식물공장형육묘시스템 내 토마토 모종 생산 시 수익 추정은 관행 대비 약 493%의 수익을 올릴 수 있다고 추정됨(표18)

표18. 관행 및 식물공장형육묘시스템 토마토 모종 생산 단가 비교(국가통계포털, 2018)

| 구분 | 관행(원) | 식물공장형육묘시스템(원) |
|-----------|--------------------|-----------------------|
| 종자비 | 74.9 | 74.9 |
| 비료/양액비 | 15.4 | 15.4 |
| 농약비 | 14.2 | 14.2 |
| 광열 동력비 | 18.1 | 1.5 |
| 트레이 구입비 | 17.5 | 5.9 |
| 상토비 | 36.4 | 36.4 |
| 인건비 | 85.0 | 79.0 |
| 육묘시설 수리비 | 20.1 | 16.1 |
| 감가상각비 | 0 | 25.7 |
| 기타 | 13.9 | 13.9 |
| 생산 원가(/주) | 295.5 | 283 |
| 생산 단가(/주) | 435 | 435 |
| 생산량(주) | 15,360 (128×120×1) | 83,558 (128×480×1.36) |
| 판매액(원) | 6,681,600 | 36,347,730 |
| 수익(원) | 2,142,720 | 12,700,816 |

* 생산량: 트레이 128구×동일 면적 육묘 가능 트레이 수×동일 기간 육묘 가능 횟수

* 자료: 육묘업체의 경영비 소요 비율 및 경영비 항목별 비율, 육묘업체의 연간 판매액

- 현장실증 결과에 따른 식물공장형육묘시스템 내 수박 모종 생산 시 수익 추정은 관행 대비 약 406%의 수익을 올릴 수 있다고 추정됨(표19)

표19. 관행 및 식물공장형육묘시스템 수박 모종 생산 단가 비교(국가통계포털, 2018)

| 구분 | 관행(원) | 식물공장형육묘시스템(원) |
|-----------|--------------------|-----------------------|
| 종자비 | 84.2 | 84.2 |
| 비료/양액비 | 17.3 | 17.3 |
| 농약비 | 16.0 | 16.0 |
| 광열 동력비 | 20.3 | 0.8 |
| 트레이 구입비 | 19.6 | 19.6 |
| 상토비 | 40.9 | 40.9 |
| 인건비 | 95.5 | 88.7 |
| 육묘시설 수리비 | 22.6 | 18.1 |
| 감가상각비 | 0 | 30.1 |
| 기타 | 15.6 | 15.6 |
| 생산 원가(/주) | 332 | 331.3 |
| 생산 단가(/주) | 489 | 489 |
| 생산량(주) | 15,360 (128×120×1) | 77,414 (128×480×1.26) |
| 판매액(원) | 7,511,040 | 37,855,446 |
| 수익(원) | 2,411,520 | 12,208,188 |

* 생산량: 트레이 128구×동일 면적 육묘 가능 트레이 수×동일 기간 육묘 가능 횟수

* 자료: 육묘업체의 경영비 소요 비율 및 경영비 항목별 비율, 육묘업체의 연간 판매액

- 현장실증 결과에 따른 식물공장형육묘시스템 내 오이 모종 생산 시 수익 추정은 관행 대비 약 445%의 수익을 올릴 수 있다고 추정됨(표20)

표20. 관행 및 식물공장형육묘시스템 오이 모종 생산 단가 비교(국가통계포털, 2018)

| 구분 | 관행(원) | 식물공장형육묘시스템(원) |
|-----------|--------------------|-----------------------|
| 종자비 | 60.1 | 60.1 |
| 비료/양액비 | 12.3 | 12.3 |
| 농약비 | 11.4 | 11.4 |
| 광열 동력비 | 14.5 | 0.7 |
| 트레이 구입비 | 14.0 | 14.0 |
| 상토비 | 29.2 | 29.2 |
| 인건비 | 68.1 | 63.3 |
| 육묘시설 수리비 | 16.1 | 12.9 |
| 감가상각비 | 0 | 21.5 |
| 기타 | 11.2 | 11.2 |
| 생산 원가(/주) | 236.9 | 236.6 |
| 생산 단가(/주) | 349 | 349 |
| 생산량(주) | 15,360 (128×120×1) | 83,558 (128×480×1.36) |
| 판매액(원) | 5,360,640 | 29,161,742 |
| 수익(원) | 1,721,856 | 9,391,919 |

* 생산량: 트레이 128구×동일 면적 육묘 가능 트레이 수×동일 기간 육묘 가능 횟수

* 자료: 육묘업체의 경영비 소요 비율 및 경영비 항목별 비율, 육묘업체의 연간 판매액

- 국가통계포털에서 집계한 통계값을 기준으로 한 것이기 때문에 각 육묘장별 상이한 차이가 있을 수 있으며, 또한 수요량에 따라서 수익 증대가 달라질 것으로 판단됨
- 식물공장형육묘시스템 경제적 타당성 확보를 위한 문제에는 높은 초기 투자비용, 유통망의 지속적인 확보, 생산성 확대를 위한 높은 기술비용 지출, 경제성 확보 및 규모화를 위한 사업 확장에 필요한 자본들이 복합적인 문제가 발생할 수 있음
- 식물공장형육묘시스템의 생산량이 월등히 뛰어나지만 수요량이 따라주어야 하므로, 높은 초기 투자비용을 회수하기에 어려움이 있을 수 있으나 최근, 접목묘를 요구하는 농가가 늘고 있는 추세임 (표21)
 - 각 농가별 접목묘에 대한 수요가 지속적으로 늘 것으로 전망됨
 - 고추의 경우 식물공장형육묘시스템 생산 시 육묘기간을 대폭 줄여 육묘업체에서의 수요가 증가할 것으로 전망됨

표21. 육묘업체의 품목별 접목묘 생산 비중 비교(KREI, 2011, 2018)

| 구분 | 접목 및 실생 비율(2010년 기준) | | | 접목 및 실생 비율(2018년 기준) | | |
|-----|----------------------|------|-------|----------------------|------|-------|
| | 접목 | 실생 | 계 | 접목 | 실생 | 계 |
| 고추 | 29.4 | 70.6 | 100.0 | 21.8 | 78.2 | 100.0 |
| 수박 | 93.5 | 6.5 | 100.0 | 95.4 | 4.6 | 100.0 |
| 호박 | 38.9 | 61.1 | 100.0 | 41 | 59.0 | 100.0 |
| 오이 | 75.4 | 24.6 | 100.0 | 74.7 | 25.3 | 100.0 |
| 토마토 | 45.8 | 54.2 | 100.0 | 57.8 | 42.2 | 100.0 |
| 가지 | 42.5 | 57.5 | 100.0 | 42.7 | 57.3 | 100.0 |

- 육묘는 농작물 생산의 전초 단계로서 수확량을 결정하는 데 중요한 역할을 하며, 재배 관련 모든 기술이 집대성된 정밀산업임. 또한, 접목묘는 실생묘에 비해 작물 생육의 균일성 유지는 물론 수량성 증대에도 강한 이점을 가지고 있으며, 공정육묘로 받아들여 상생 키시키고 종자 소요량도 감소하게 할 수 있는 장점을 가지고 있음
- 이에 따라 육묘장 면적, 접목묘 생산 비중, 모종 구입 비중 등이 증가하고 있는 추세이며, 이러한 흐름에 맞게 더 큰 발전과 부흥이 일어나도록 식물공장형육묘시스템의 보급

이 필요하며, 충분히 경제성 확보에 있어서 가능성이 있을 것으로 판단됨

(2) 식물공장형육묘시스템 개선 사항 제안

- 모듈 내 수평적 광분포가 균일하지 못해 작물 생장이 불균일하였음
 - LEDs 간격 구멍에서 선정된 시나리오를 적용하여 수퍼적 광 분포를 개선함
- 스티로폼 육묘용 베드 대량 제작으로 제조사의 제작 문제 및 배송 중 불량 상태로 베드 내 물이 고르지 못한 현상이 발생하였음(그림4)
 - 타사 육묘용 베드를 구입 후 설치하거나 현 스티로폼 베드를 개선하도록 함
- 순환식 양액시스템으로 상토가 걸러 순환되면서 관수관을 막는 현상이 발생함(그림4)
 - 순환식 양액시스템을 비순환식 양액시스템으로 수정함



베드 내 물이 고르지 못한 현상 필터를 통한 상토가 제대로 걸러지지 않아 관수 막힘 현상 발생

그림4. 식물공장형육묘시스템 가동 시 문제점

- 관수 제어 시 베드에 물이 차오르기까지 약 20분이 걸려 작물 과습 현상이 발생하여 생육에 불리한 환경을 조성 하였으며, 곳곳에 녹조가 끼는 현상이 발생함
 - 점적 단추를 2배로 늘려 관수 시간 약 8분이 되도록 수정함
- FCU의 공조시스템 불균일로 인해 작물의 생장이 불균일하였으며, 유속을 증가시켰지만 별다른 개선이 되지 않았음
 - 추가적인 CFD 분석 또는 풍량 프로파일링 데이터를 통해 추가적인 기류 분포도 분석이 필요함
 - 유동장 개선을 위해 노즐 설치 혹은 타공판을 부분적으로 막은 뒤 전면부에 물리적으로 유량을 차단 시키는 방법 등을 통해 개선할 수 있음
 - 블로어 시스템을 적용하여 모듈 내 미세 기류를 균일하게 형성시킬 수 있음
- FCU 에어컨 작동 시 잦은 누수 현상이 발생함(그림5)
 - 과제 종료 후 추가적인 보수 작업을 실시할 것임

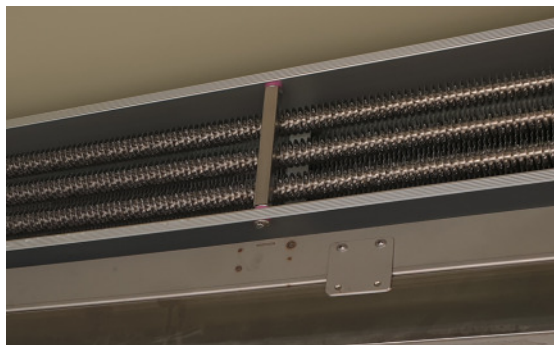
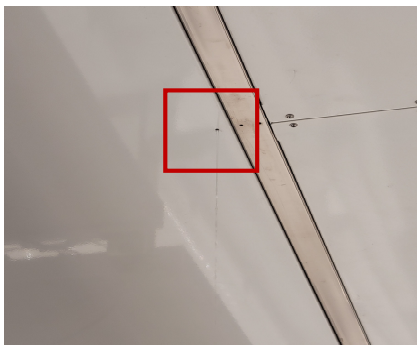


그림5. FCU 에어컨에 의한 누수 현상 발생

<제2협동(한국과기산업): 인공광 식물공장육묘시스템 표준 모듈 개발 및 현장 실증>

1) 식물공장형육묘시스템 현장실증을 선행 과정

(1) 인공광 식물공장형육묘시스템 표준모듈의 개발

- 식물공장형육묘시스템의 배경
 - (주) 한국과기산업은 2018~2020년까지 주관과제 ‘접목로봇 연계 과채류 규격묘 생산 식물 공장형육묘시스템 개발’에 참여하여 식물공장형육묘시스템 표준모듈 개발을 진행함
 - 인공광 이용 식물공장형육묘시스템 제작을 위한 연구개발의 목표 : 접목로봇에 적합한 접수 및 대목 규격묘의 생산효율 극대화를 위한 식물공장형육묘시스템 개발
 - 인공광 이용 식물공장형육묘시스템 제작을 위한 연차별 목표

| 연 차 | 목 표 |
|-------------|---------------------------------------------------|
| 1차년도 (2018) | 다단 육묘 모듈 설계 및 제작 |
| 2차년도 (2019) | 육묘용 식물공장 제작 및 실증 |
| 3차년도 (2020) | 육묘용 식물공장 생산관리 프로그램 및 운용 매뉴얼 개발 |
| 최 종 | 접목로봇에 적합한 접수 및 대목 규격묘의 생산효율 극대화를 위한 식물공장형육묘시스템 개발 |

○ 식물공장형육묘시스템의 구성(그림1)

- 식물공장형육묘시스템은 육묘용 모듈 및 시스템, 식물공장형육묘시스템 관리를 위한 프로그램이 필요하며 육묘 전용 베드가 필요하다

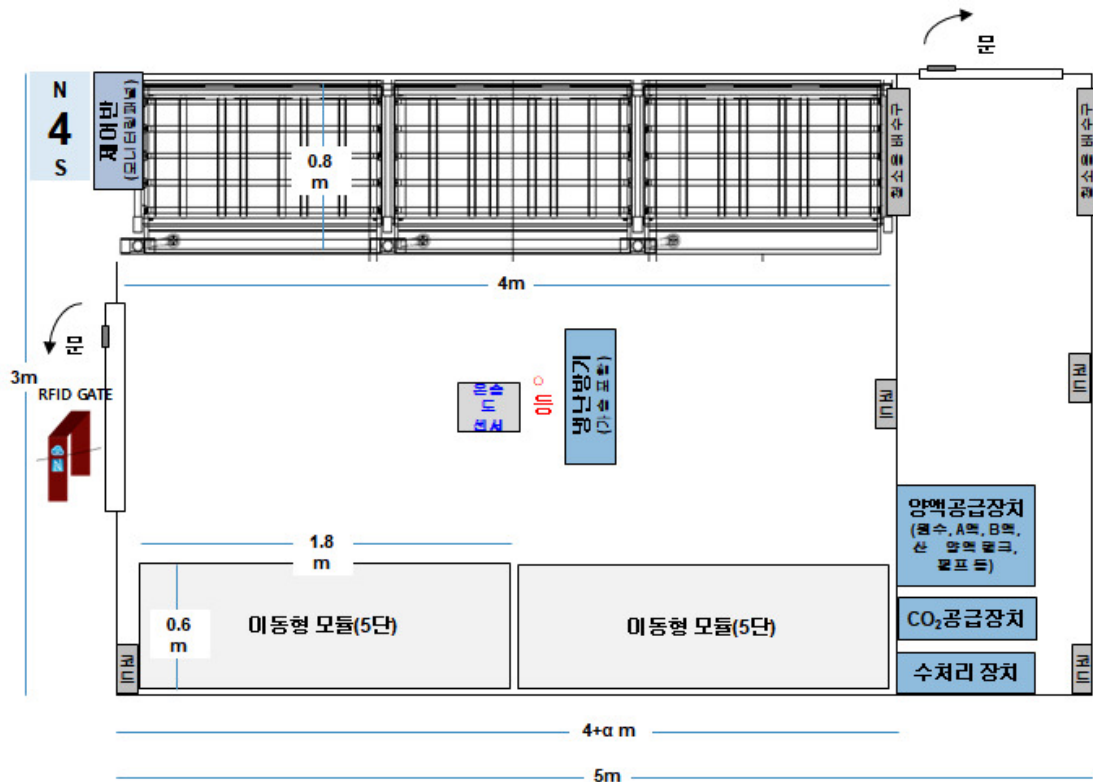


그림1. 선행과제에서 진행한 식물공장 육묘시스템 (국립원예특작과학원)

○ 다단 육묘 모듈 설계 및 제작
 - 육묘용 베드 구상 및 디자인

| 발명의 명칭 | | 육묘베드 |
|--------|--------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 기술요지 | | 스티로폼으로 형성되고, 육묘부와 배수통로 사이에 격벽 형성 |
| 발명의 구성 | 필수 구성 | <ul style="list-style-type: none"> 급수구가 형성되고, 바닥면에 복수의 돌출부가 미리 설정된 간격으로 이격되어 배치되는 육묘부 육묘부의 일측에 배치되고, 일측에 배수구가 형성되는 배수통로 육묘부 및 배수통로를 구획하기 위하여 육묘부 및 상기 배수통로 사이에 배치되고, 적어도 하나의 관통홀이 형성되는 내벽 관통홀에 삽입되도록 형성되어 육묘부 및 배수통로 사이의 양역 이동을 조절하는 조절부재 육묘베드는 스티로폼으로 형성 |
| | 구체화 내용 | <ul style="list-style-type: none"> 격벽 및 관통홀의 구체적인 형상 조절부재의 구체적인 기능 및 작동 돌출부의 구체적인 형상(R값 등) 바닥면의 기울기 |
| 기술적 효과 | | <ul style="list-style-type: none"> 육묘베드의 경량화 및 재료비 절감 도모 육묘부에 수용된 작물의 담수 조절이 가능 육묘부의 바닥면이 배수통로 방향으로 하향 기울여 형성됨으로써 자연 배수가 가능 |

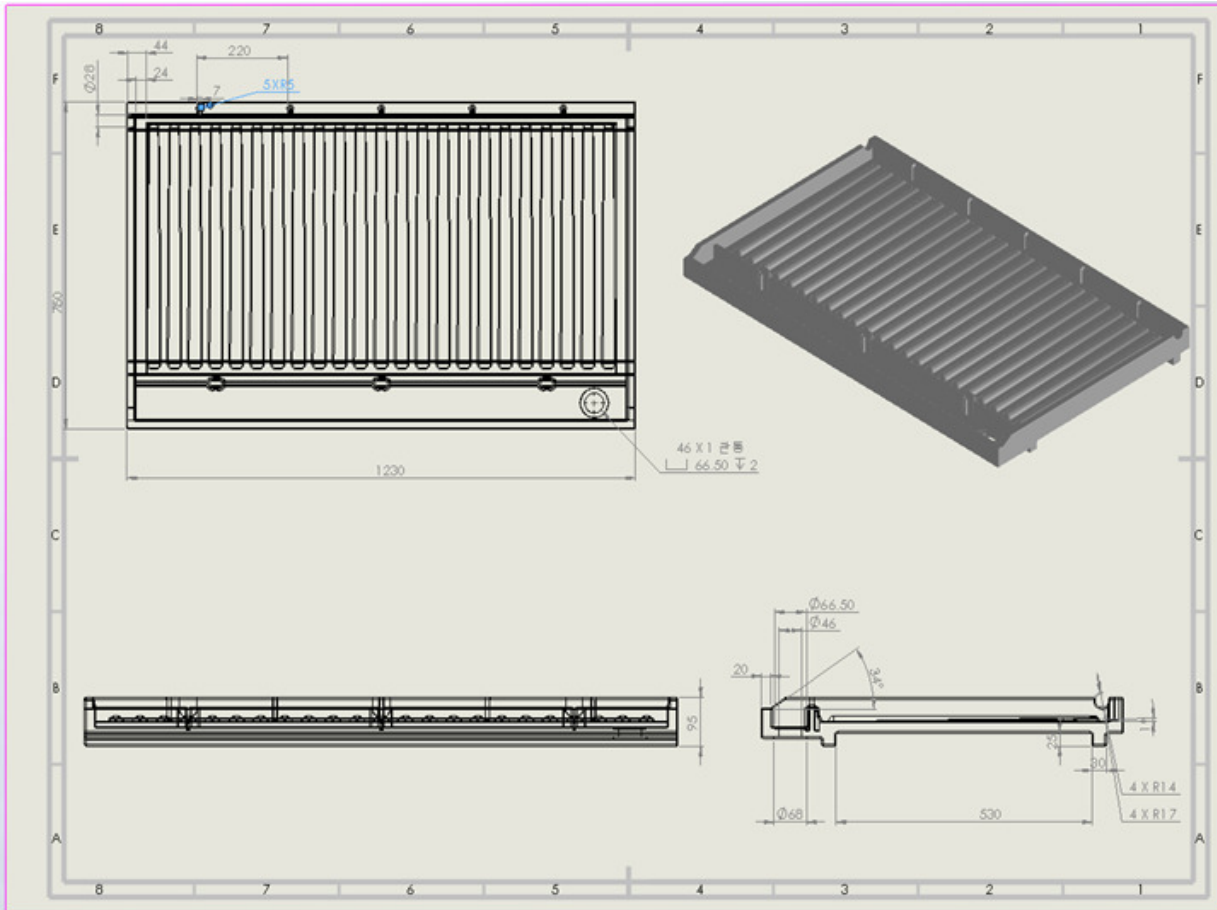


그림2. 스티로폼 육묘용 베드 설계도면

- 육묘베드 개발 과정 및 현장적용(그림3)

- * 설계된 육묘베드를 스티로폼 성형하여 시제품을 제작하였으며 이를 국내 육묘 회사 및 농진청을 포함한 여러 시험 장소에서 현장 실증함



스티로폼 베드 제작방법

시제품 제작

현장 적용

그림3. 육묘베드 개발과정 및 현장적용

○ 다단 육묘 모듈 설계 및 제작(그림4)

- 접수 및 대목 적정 환경 구멍을 위한 조도별 실험을 위해 각 단마다 광량을 50, 100, 150, 200, 300 μmol 을 제어가 가능한 다단 육묘 모듈을 제작
- 인공광원(40W LED, 방수형, 2m) 6개가 각 단에 설치되어 있으며, 육묘 모듈 컨트롤러 광원 제어가 가능

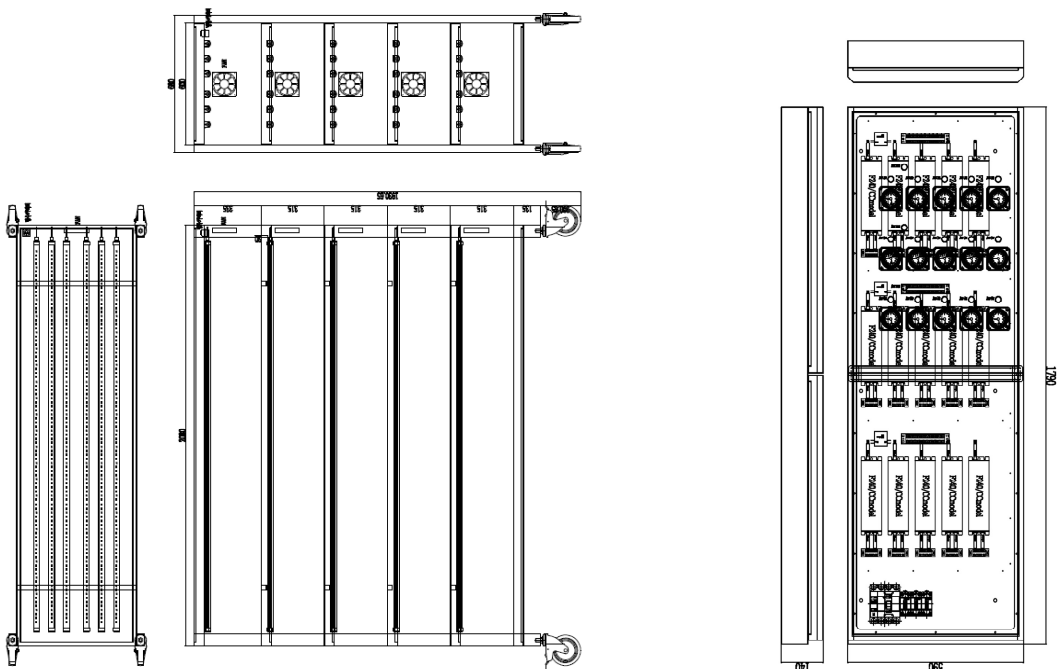


그림4. 다단 육묘 모듈 설계



그림5. 다단 육묘 모듈 및 컨트롤러

○ 육묘용 식물공장 제작 및 실증

- 육묘용 식물공장 제작 후 환경제어 및 작물의 생육상태 점검

* 시험장소 : (주)한국과기산업, 농진청

* 처리방법 : 광도, 온도, 습도, CO₂, 관수

* 조사항목 : 온도, 습도 광도, CO₂ 변화, 각종 센서 및 작물의 생육상태 점검

- 제작된 육묘용 식물공장의 개요

* 접수 및 대목 규격묘 생산 연중 안정 공급

* 접목 로봇의 최대 효율 위해 특정 수준의 모종 균일성 확보

* 다양한 작물에 따른 최적 규격묘 생산 위한 맞춤 환경제어에 필요함

- 면적: **13.5㎡**
- 도어: 방열문 **900*2400*1EA**
- 바닥마감: 투명에폭시
- 기타: 갈바워 스키시명판

그림6. 식물공장형육묘시스템

- 제작된 육묘용 식물공장의 성능

* 육묘대: 이동식/고정식 과 순환식/비순환식 타입, 자동급수기능

* 조도: LED(Cool white,Red,Farred 혼합광), 0~400μmol (광으로부터 30cm측정), 디밍기능, 단별조절

* 온도: 10~40℃ (정밀도±0.2℃)

* 습도: 50~80% (정밀도3%이내)

* 모니터링 시스템: 조도, 온도, 습도, CO₂ 터치스크린 조절 및 1일 48회 변경기능, 작물별 맞춤

환경제어, 실시간 환경데이터를 컴퓨터 및 USB 저장

* 안전한 사용: 고온/저온 범위 이탈 따른 알림기능으로 있음



그림7. 식물공장형육묘시스템 구성

○ 육묘용 식물공장 생산관리 프로그램 및 운용 매뉴얼 개발

- 생산관리 프로그램 화면 구성 : 시작화면, 운전화면, 재배대설정, 환경설정, 환기설정, 기타설정 등으로 구성
- 생산관리 프로그램의 기능(그림8)
 - * 시작화면에서 원하는 작물(대목/접수)을 선택함으로써 작물에 따른 최적의 생산관리 시스템을 구현할 수 있도록 하였음
 - * 운전화면에서는 실시간으로 설정된 온도, 습도, CO₂값과 현재 상태 확인이 동시에 가능하며 정보들은 USB에 저장 가능함
 - * 재배대 설정은 하루 24시간을 기준으로 최대 24단계로 나누어 각 재배대 단별로 광원 조절이 가능함
 - * 환경 설정에서는 하루 24시간을 기준으로 최대 24단계로 나누어 온도, 습도, CO₂를 사용자가 원하는 값(허용범위 내)만큼 설정 가능함. 환기설정은 연속, 주간, 야간, 비상으로 설정 가능함. 기타설정에는 일괄설정, 온도경보 설정, 데이터 로깅으로 구성되어 있음



그림8. 육묘용 식물공장 생산관리 프로그램 화면 구성

- 현 과제를 진행하기 위한 기대 효과
 - 기후변화 및 이상기상 대응 우량 규격묘 생산으로 국내 농작물 생산성 향상
 - 육묘 공간 증대 및 생산비 절감으로 육묘 농가 소득 증대
 - 모종 규격화 및 품질 향상을 통한 모종 수출 확대

2) 현장 실증을 위한 시설 제작 부지선정 및 기획

(1) 현장 실증을 위한 기획

- 현장 실증 실험을 위한 육묘장 구축안
 - 호*육묘장(그림9) : 2실 구성(4-5단, 6대/실), 제어실에서 컴퓨터로 모니터링 가능
 - * 담당 : 김*훈 이사
 - * 전화 : (033)2*2-****, 팩스 : (033)2*2-****



그림9. 호* 육묘장 설치 공간 확인 및 전력상태 확인

- 내*산 육묘장(그림10) : 2실 구성(5단, 6대/실), 제어실에서 컴퓨터로 모니터링 가능
- * 담당 : 최*근 대표
- * 전화 : (063)5*3-****, 팩스 : (063)5*3-****



그림10. 내*산 육묘장 설치 공간 확인 및 전력상태 확인

- 최종 선정지는 호*육묘장으로 선정(콘크리트기초+우레탄 판넬만 육묘장 부담)

- 경북대학교 실증 실험을 위한 구축안
 - 경북대학교(그림12) : 1실 구성(3단, 4대/실), 항온항습 장치는 학교측에서 설치 예정
 - * 육묘대 수조 재질 : PVC, LED : 퓨*그린, 프레임 : 효*기전



그림11. 경북대학교 설치 공간 확인 및 전력상태 확인

○ 경북대학교 식물공장형육묘시스템 설치 후 성능 테스트 결과

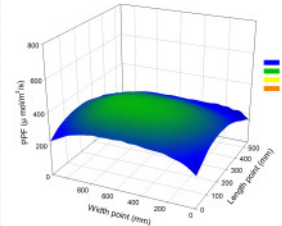
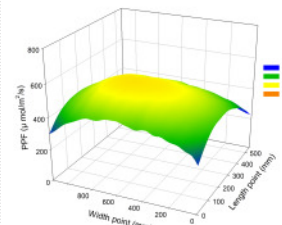
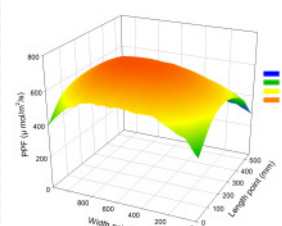
* (광량 및 광주기) 설정 광량 및 광주기에 맞게 광 환경이 조절되는지 확인

* (온도 및 상대습도) 설정 온도 및 상대습도로 환경이 유지되는지 확인

- 설정 광량 300/400/500 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 일 때, 평균 광량은 각각 311.8/444.2/569.6 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 으로 설정 광량보다 높게 제어되었음

- 설정 광량에 300/400/500 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 따른 광량에 대한 변이계수는 각각 17.1/18.3/18.2%로 비교적 균일한 분포를 이루었음(표1)

표1. 경북대학교 향온향습실 설정 광량에 따른 평균 광량 및 광 균일도

| 설정 광량 ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) | 평균 광량 ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) | 변이계수 (%) | 광분포도 |
|------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|-------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 300 | 311.8 | 17.1 |  |
| 400 | 444.2 | 18.3 |  |
| 500 | 569.6 | 18.2 |  |

- 설정 기온 25 $^{\circ}\text{C}$ 일 때, 평균 기온은 25.5 $^{\circ}\text{C}$ 로 설정 기온에 맞게 잘 제어되었음

- 설정 상대습도 65%일 때, 평균 상대습도 64.7%로 설정 값에 맞게 잘 제어되었음(그림12)

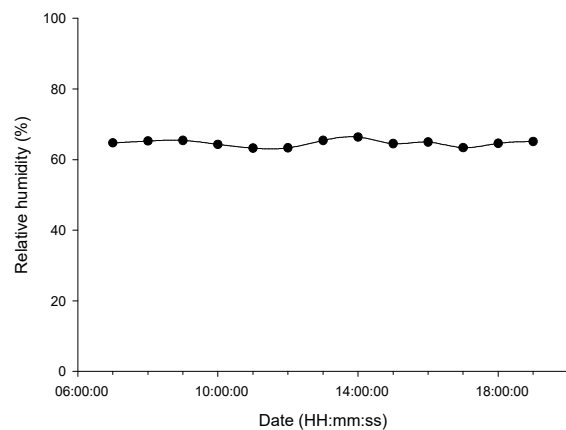
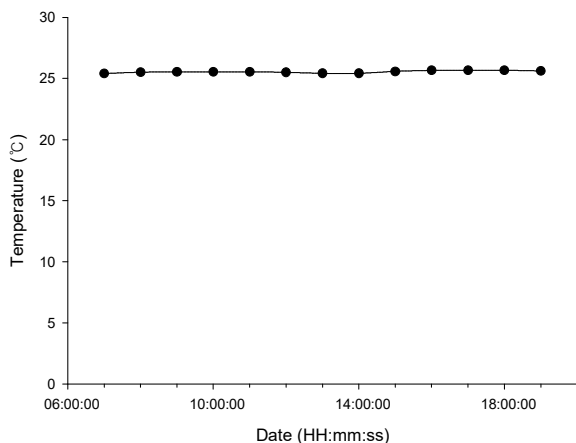


그림12. 경북대학교 향온향습실 내 기온 및 상대습도 변화



그림13. 경북대학교 식물공장형육묘시스템 설치 후 모습

○ 육묘생산 시스템 구축시 필요한 물품 리스트

- 압축스티로폼(EPS), 유니트쿨러, 실외기, 제어기, PC, 양액(PH+EC), 타공판, 육묘대(알루미늄 프로파일), LED, 양액제어기, 센서류(온.습도, 조도, CO2), 배관, 전열교환기, 가습기, 전기, 기타 유틸리티

(2) 현장실증을 가 설계 및 CFD분석 진행

○ 호*육묘장 가 설계(그림14)

- 계획 평면도 및 계획 단면도

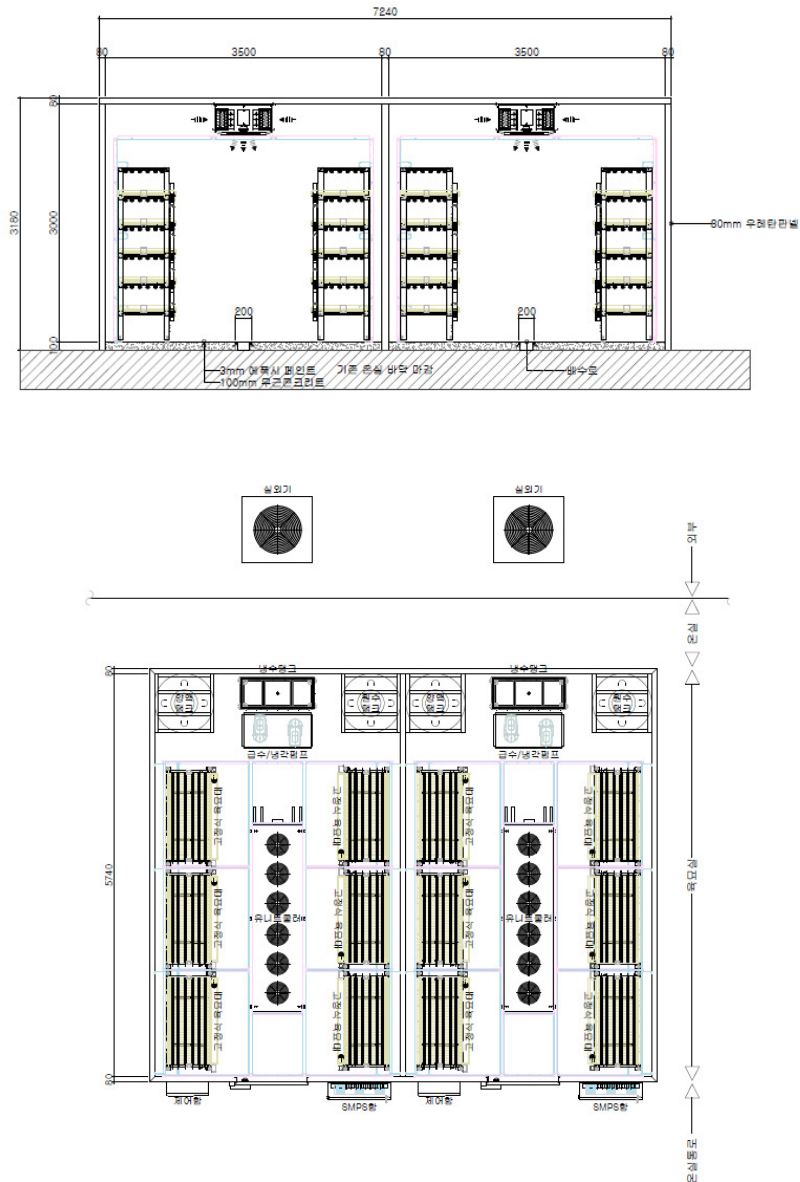


그림14. 호*육묘장 평면도 및 단면도(안)

- 경북대학교 가 설계(그림15)
- 계획 평면도 및 계획 단면도

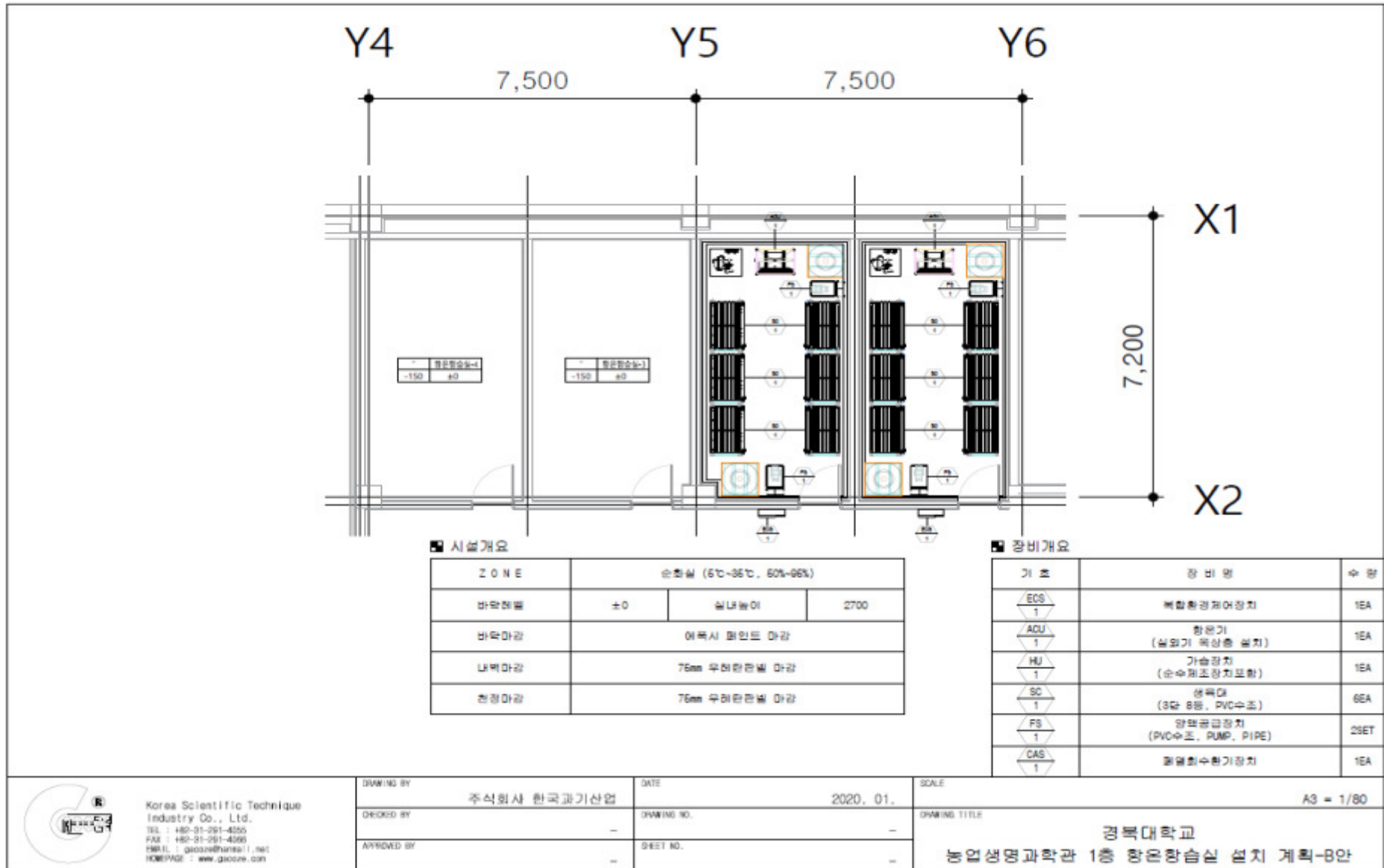


그림15. 경북대 실증 실험실 계획 설계(안)

- CFD 분석을 통한 호*육묘장 및 경북대 식물공장형육묘시스템 설계의 문제점 재확인
 - 의뢰대상 : 전북대학교 농업환경 연구실
 - 분석대상 : 가 설계와 동일 설계인 국립원예특작과학원 식물공장시스템

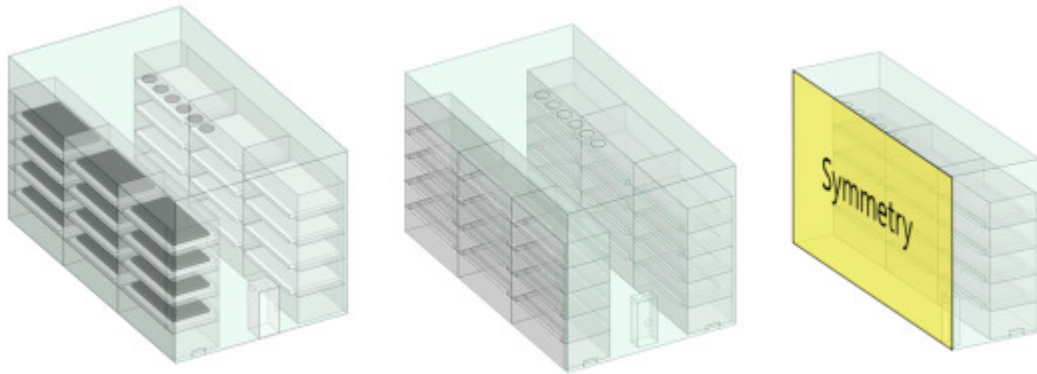


그림16. 육묘장 외형 제작 (CFD 설계)

- CFD 분석 결과_온도(그림18,19)
 - 1st 트레이와 4th 트레이의 온도는 평균 0.05℃ 차이가 있음
 - 식물이 없는 Bottom과 Ceiling의 온도는 평균 0.24℃ 차이가 있음
 - 3rd 트레이가 평균 20.26℃로 가장 높은 온도로 분포함
 - Bottom이 평균 19.86℃로 가장 낮은 온도로 분포함
 - Cooler < Door < Humidifier 순서로 온도차가 발생함 : Door 와 Cooler 는 평균 0.03℃ 차이가 남, Humidifier 와 Door 는 평균 0.20℃ 차이가 남

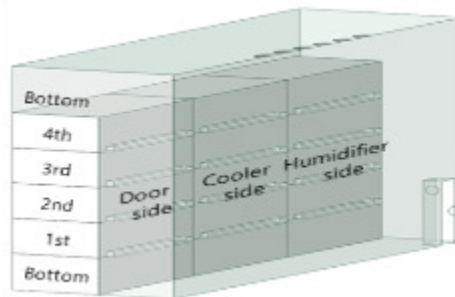


그림17. 육묘대 명칭

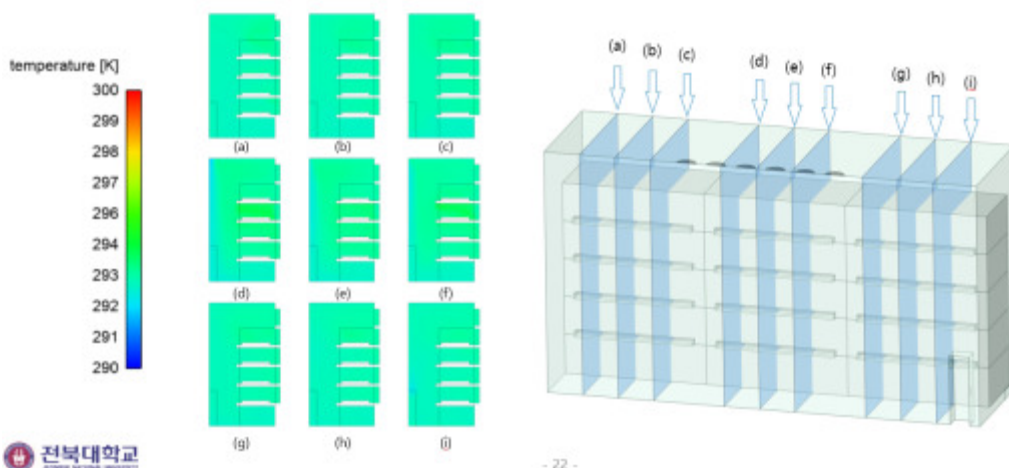


그림18. 육묘대 옆면부 온도 CFD 결과

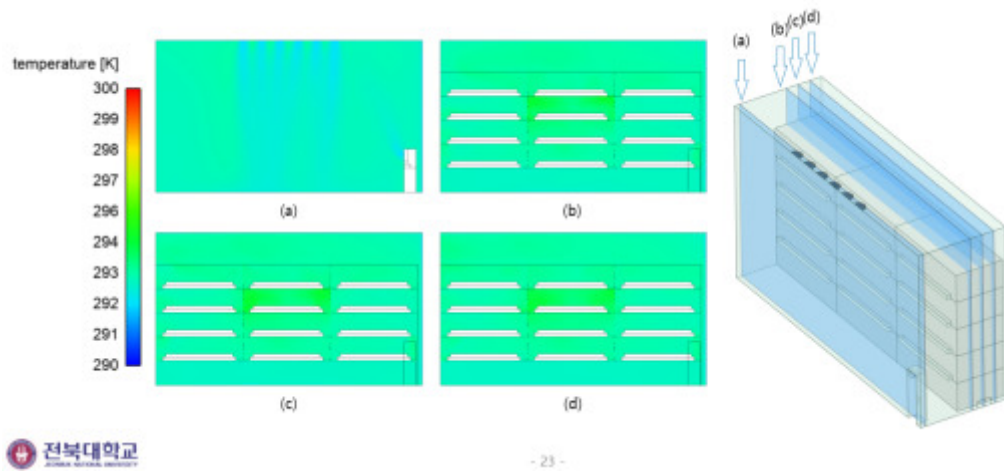


그림19. 육묘대 전면부 온도 CFD 결과

○ CFD 분석 결과_벡터(그림20,21)

- 1st와 2nd는 0.6 m/s 이하의 풍속으로 공기 유입이 이루어지며, 다공판으로 배기됨
 - * Door와 Humidifier는 Cooler를 통과한 공기에서 유입됨
- 3rd는 쿨러의 공기 유입량이 적으며, 3rd 내부에서 공기 순환이 이루어짐
 - * Door와 Humidifier는 쿨러에서 유입된 공기가 작물에 직접 접촉되지 않음
 - * Cooler는 쿨러에서 유입된 공기량이 적으나 작물에 직접 접촉이 이루어짐
- 4th는 쿨러의 공기가 유입되는 양이 매우 적으며, 천장에서 순환되는 공기가 주로 유입되고, 다공판에서 역류현상이 발생함
 - * 다른 육묘판보다 가장 늦게 공기 교체가 이루어짐
 - * 육묘판에서 복도와 가까운 위치의 작물에 다공판에서 역류된 공기가 직접 접촉함
- 가슴기에 나온 공기는 쿨러가 발생시킨 와류에 의해 천장으로 상승하며 Humidifier 주변에서 순환됨
 - * Humidifier의 Ceiling과 4th으로 가슴된 공기가 물림

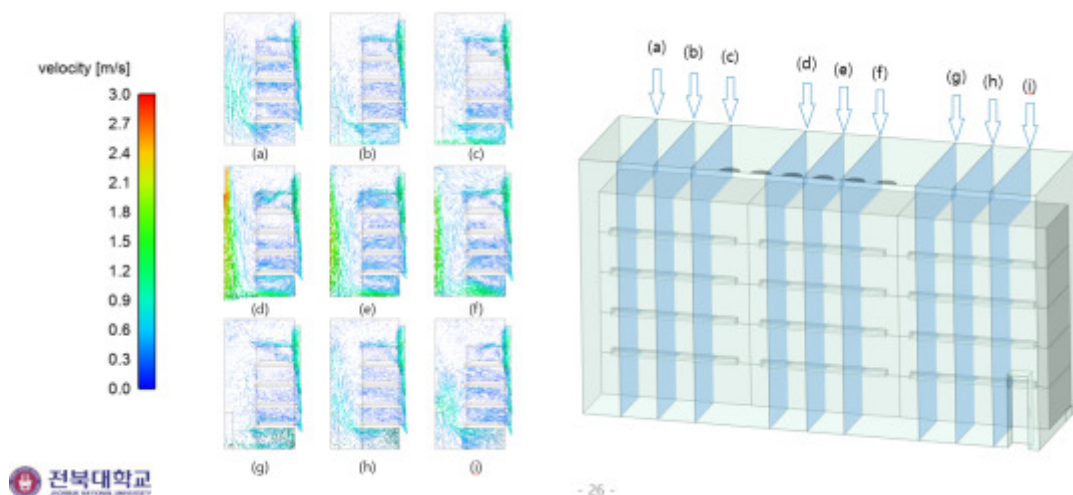


그림20. 육묘대 옆면부 벡터 CFD 결과

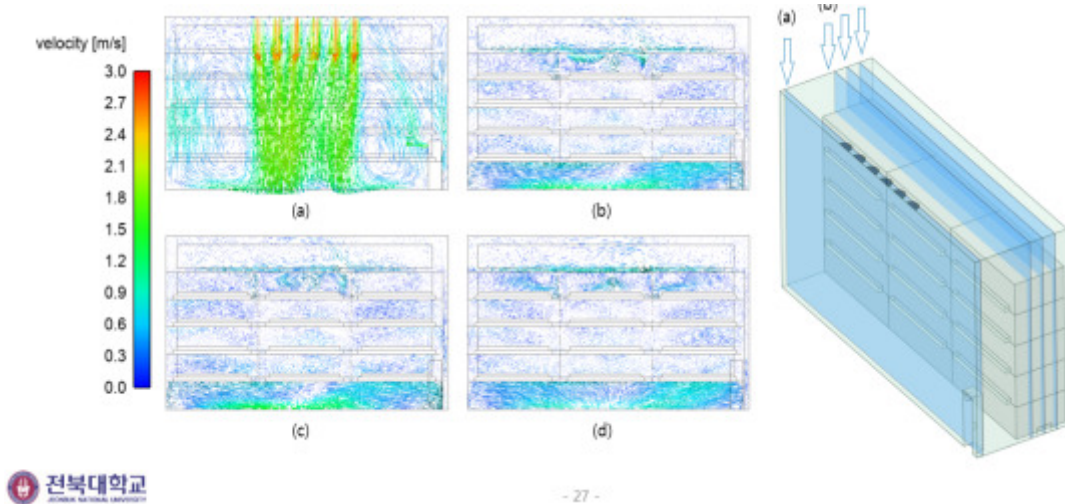


그림21. 육묘대 전면부 벡터 CFD 결과

○ CFD 분석 결과_습도(그림22,23)

- 1st 트레이와 4th 트레이의 습도는 평균 0.44% 차이남
- 식물이 없는 Bottom과 Ceiling의 습도는 평균 1.17% 차이남
- 4th 트레이가 평균 84.75%로 가장 높은 습도로 분포함
- Bottom이 평균 82.82 %로 가장 낮은 습도로 분포함
- 물이 있는 트레이 1st ~ 4th에서는 습도가 고르게 분포한 편임
- Door < Cooler < Humidifier 순서로 습도차가 발생함
- * Humidifier 가 평균 84.86 % 로 가장 높은 습도로 분포함

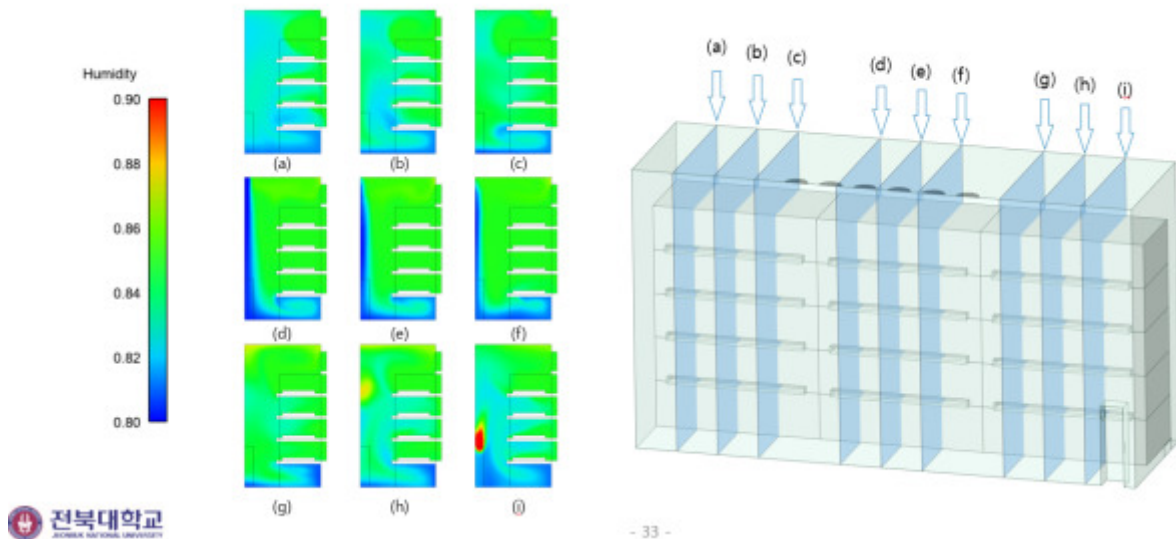


그림22. 육묘대 옆면부 습도 CFD 결과

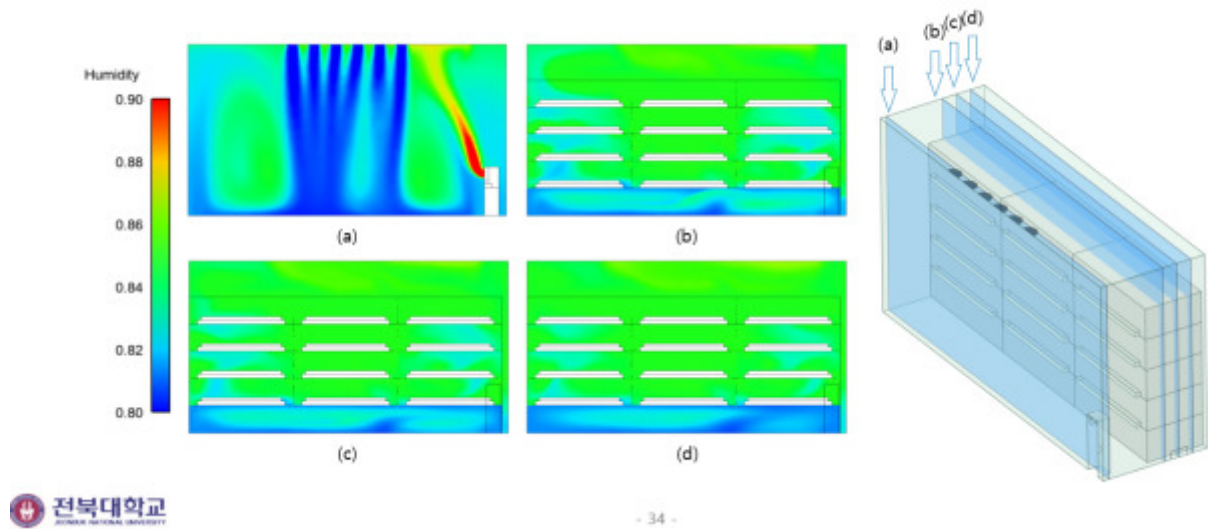


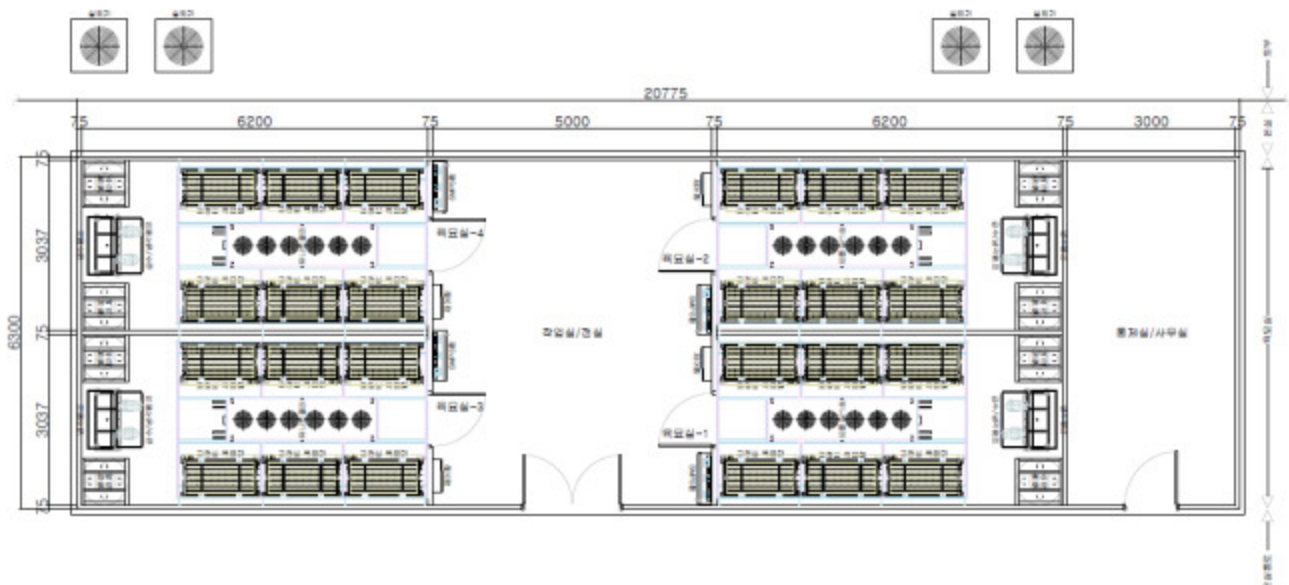
그림23. 육묘대 전면부 습도 CFD 결과

- CFD 결과를 통한 현 식물공장형육묘시스템 제작시 고찰
 - 쿨러에 의한 효과는 1st ~ 2nd까지는 영향을 받으나 상층부에는 영향이 거의 없으며, 3rd부터는 와류로 인한 순환으로 내부환경 설정에 즉각적인 반응을 보기 힘들
 - **(개선방향)** 쿨러의 유속을 감소시켜 트레이 간의 온도차와 습도차를 줄여야 함
 - 4th의 경우 쿨러의 영향을 거의 받지 못하며, 다공판에서 역류 현상이 발생함
 - **(개선방향)** Ceiling과 분리되어 있지 않아 부력과 와류에 영향을 습도 상승효과가 발생함
 - 중앙으로 몰린 쿨러로 인해 Door side와 Humidifier side 간의 분리가 발생하여 균일성을 떨어뜨림
 - **(개선방향)** 쿨러의 간격을 일정하게 넓혀 균일성을 높임

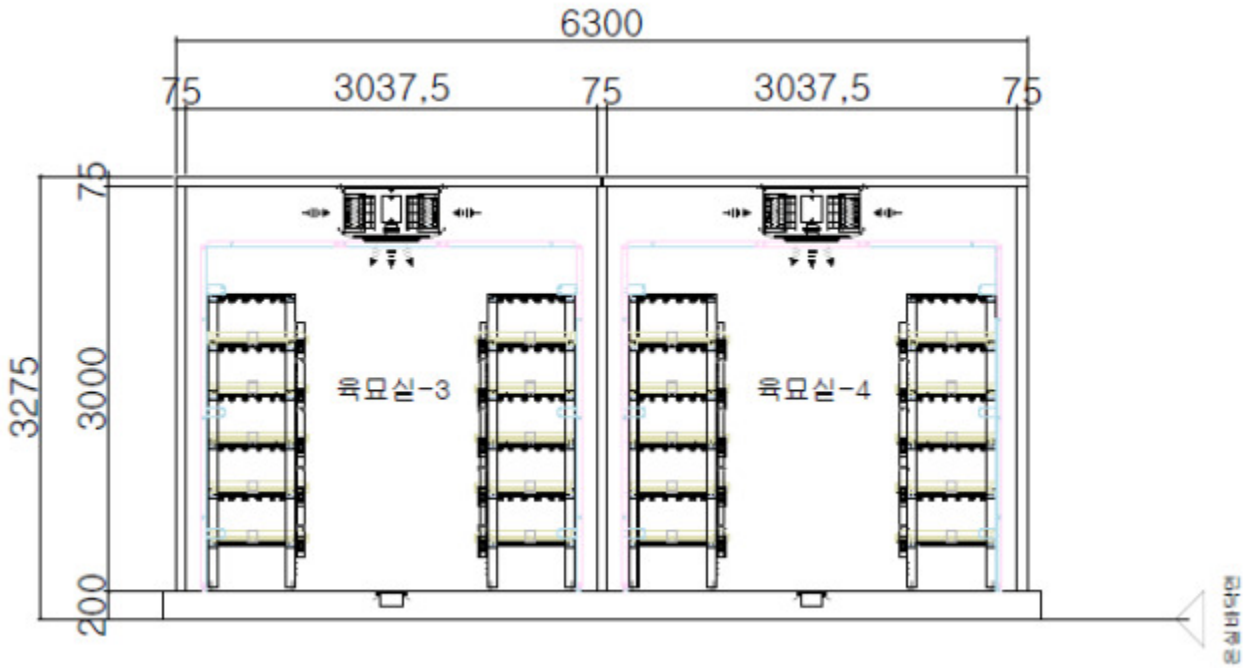
3) 인공광 식물공장 육묘시스템 제작 및 운용

(1) 현장실증을 위한 시설제작

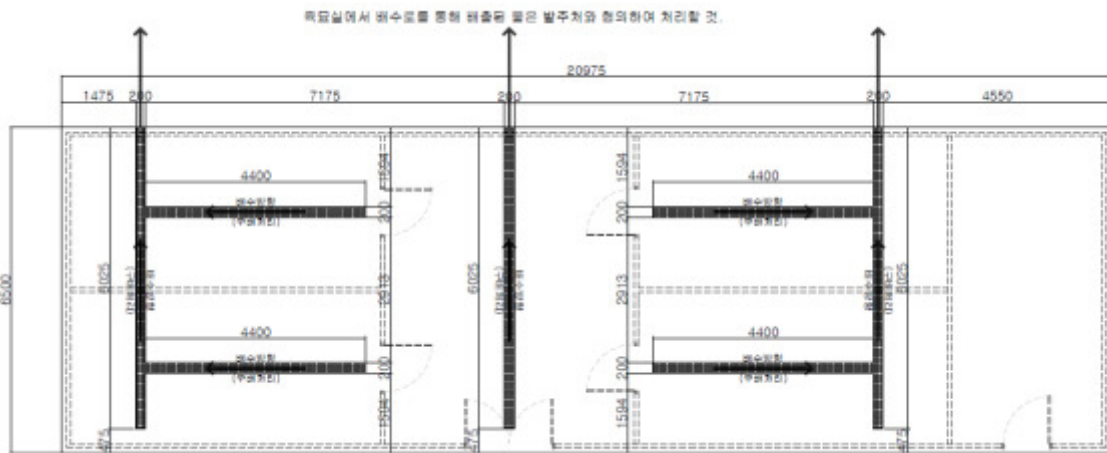
- 호*육묘장 식물공장형육묘시스템 계획 평면도



○ 호*육묘장 식물공장형육묘시스템 계획 단면도



○ 기초공사 도면

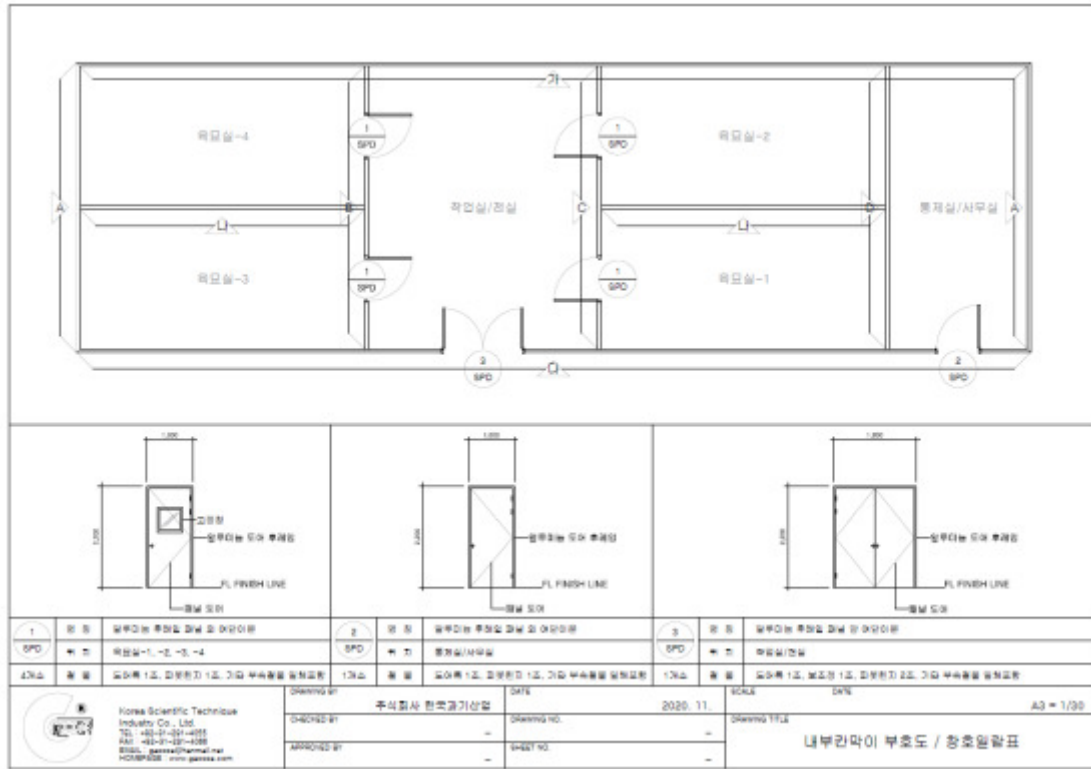


○ 트렌치 작업 (배수작업)

- 배수공간 확보 및 바닥면 콘크리트 작업 진행



○ 문 위치 및 판넬 위치 도면



○ 판넬 공사

- 판넬을 세우기 위한 바닥 구조물 설치 및 판넬 세우기



○ 판넬 천정 공사 및 지지대 설치

- 천정 공사를 진행과 동시에 기둥 사이가 먼 경우 지지대를 설치



○ 도어 및 창문 설치

- 육묘실 외 출입문 및 창문 설치



○ 바닥 라이닝 공사

- 우레탄 노출 방수(3mm)



○ 냉난방기 설치전 트레이 설치 및 육묘장 도어 설치

- 전선 및 배관에 충격이 안가도록 보호 틀(트레이) 설치(2번째 사진)
- 육묘실 도어 및 양액 탱크 설치



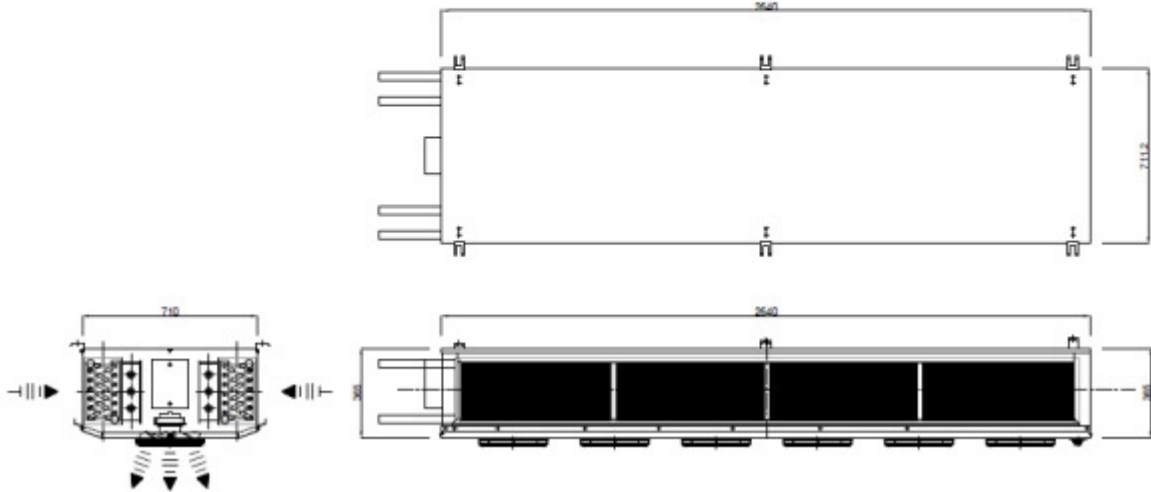
○ 냉난방기 설치 및 배관 라인 준비

- 냉난방기 및 이후 배관이 지나갈 자리 타공



○ 호*육묘장 실시설계 유니트 쿨러

| | |
|--------|---------------------------|
| 모델명 | 110-220V 60Hz, 1840 x 85A |
| 냉각 용량 | 4000kcal/h (11.1kW) |
| 전압/주파수 | 220V/60Hz |
| 전력 소비 | 1.5kW |
| 외장 치수 | 710 x 2640 x 710 (mm) |
| 중량 | 54kg |



○ 육묘실 내부 환기 시설 설치 및 실외기로 연결

- 내부 환기시설 설치 틀 부착 및 실외기로 연결



○ CCTV 및 컨트롤러 설치

- CCTV 및 컨트롤러에 들어가는 전선 라인 확보 및 설치



○ 운용 프로그램 구성 및 육묘생산시스템 성능

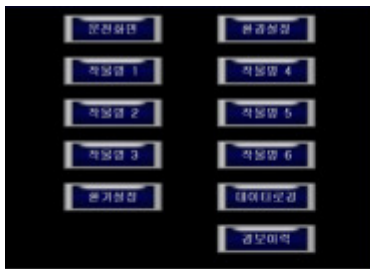
- 시스템 환경

- * 조도: LED(Cool white, Red 및 Far-red 혼합광), 0~400 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (광으로부터 30cm 거리에서 측정), 디밍 기능, 단별 조절
- * 온도: 10~40 $^{\circ}\text{C}$ (정밀도 $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$)
- * 습도: 50~80%(정밀도 3% 이내)
- * CO₂: 400ppm 상태로 유지 - 환경제어(공조)
- * 모니터링 시스템: 조도/온도/습도/CO₂ 터치스크린 조절 및 1일 48회 변경기능, 작물별 맞춤 환경제어(접수/대목:토마토, 오이, 수박,), 실시간 환경데이터를 컴퓨터 및 USB 저장

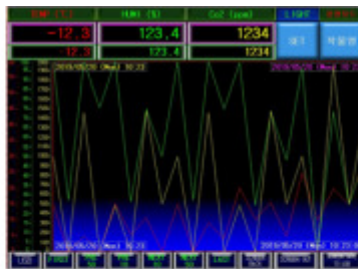
- 프로그램 구성

| 1일차 | 운전 시간설정 | 주간 시작시간 설정 | 주간 유지시간 | 야간 시작시간(자동계산) | 야간 유지시간(자동계산) | 비고 |
|------|---------|--------------------------------------------|---------|------------------------------|---------------|----|
| | | 00:00 | 00시간 | 00:00 ~ 00:00 | 00시간 | |
| 2일차 | 주간 환경설정 | 주간 운전환경 설정 | | 야간 운전환경 설정 | | |
| | 야간 환경설정 | 주간 운전환경 설정 | | 야간 운전환경 설정 | | |
| 30일차 | 주간 환경설정 | 주간 운전환경 설정 | | 야간 운전환경 설정 | | |
| | | 온도, 습도, CO ₂ , 환기, 빛트레 일수, 인공광원 | | 온도, 습도, CO ₂ , 환기 | | |

| 1일차 | 운전 시간설정 | 주간 시작시간 설정 | 주간 유지시간 | 야간 시작시간(자동계산) | 야간 유지시간(자동계산) | 비고 |
|------|---------|--------------------------------------------|---------|------------------------------|---------------|----|
| | | 00:00 | 00시간 | 00:00 ~ 00:00 | 00시간 | |
| 2일차 | 주간 환경설정 | 주간 운전환경 설정 | | 야간 운전환경 설정 | | |
| | 야간 환경설정 | 주간 운전환경 설정 | | 야간 운전환경 설정 | | |
| 30일차 | 주간 환경설정 | 주간 운전환경 설정 | | 야간 운전환경 설정 | | |
| | | 온도, 습도, CO ₂ , 환기, 빛트레 일수, 인공광원 | | 온도, 습도, CO ₂ , 환기 | | |



시작화면



운전화면

| 작업명 | 온도 | 습도 | CO2 | 환기 | 빛트레 | 인공광원 |
|-------|------|-----|--------|------|------|------|
| 작업명 1 | 23.5 | 65% | 400ppm | 100% | 100% | 100% |
| 작업명 2 | 23.5 | 65% | 400ppm | 100% | 100% | 100% |
| 작업명 3 | 23.5 | 65% | 400ppm | 100% | 100% | 100% |
| 작업명 4 | 23.5 | 65% | 400ppm | 100% | 100% | 100% |
| 작업명 5 | 23.5 | 65% | 400ppm | 100% | 100% | 100% |
| 작업명 6 | 23.5 | 65% | 400ppm | 100% | 100% | 100% |

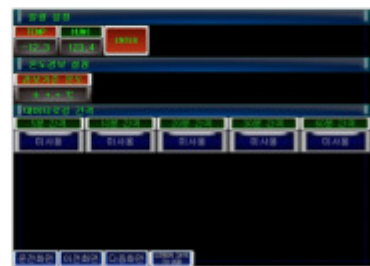
재배대설정

| 작업명 | 온도 | 습도 | CO2 | 환기 | 빛트레 | 인공광원 |
|-------|------|-----|--------|------|------|------|
| 작업명 1 | 23.5 | 65% | 400ppm | 100% | 100% | 100% |
| 작업명 2 | 23.5 | 65% | 400ppm | 100% | 100% | 100% |
| 작업명 3 | 23.5 | 65% | 400ppm | 100% | 100% | 100% |
| 작업명 4 | 23.5 | 65% | 400ppm | 100% | 100% | 100% |
| 작업명 5 | 23.5 | 65% | 400ppm | 100% | 100% | 100% |
| 작업명 6 | 23.5 | 65% | 400ppm | 100% | 100% | 100% |

환경설정

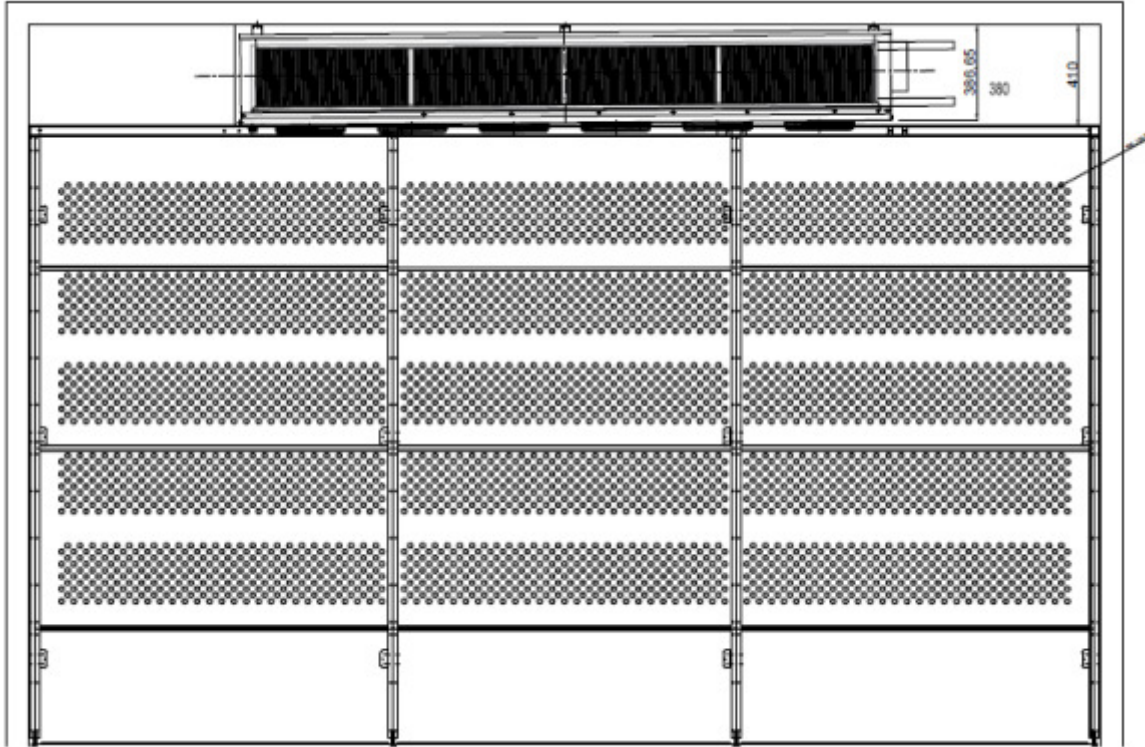


환기설정



기타설정

○ 호*육묘장 벽면 타공판 설계



○ 육묘실 내부 타공판 설치

- 벽면 타공판 설치

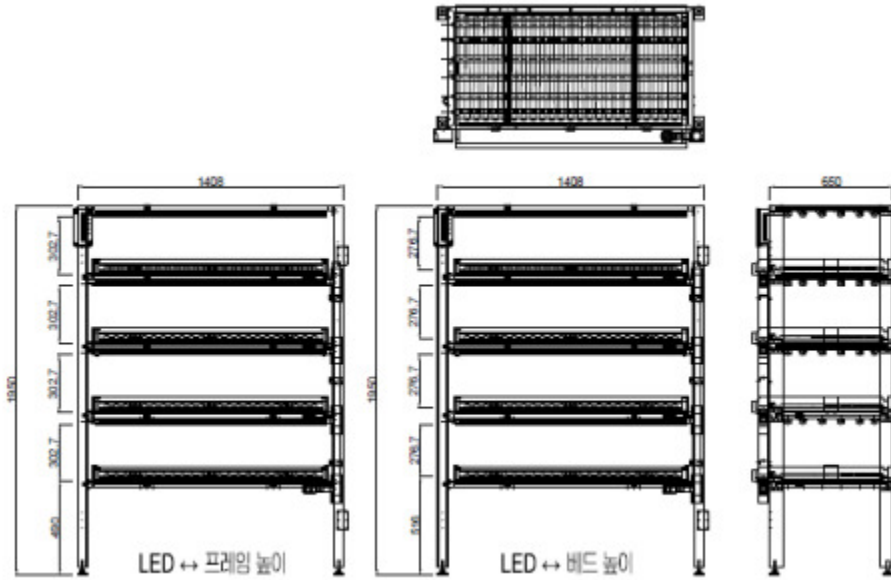


○ 배관 설치

- 육묘대에서 들어가고 나오는 양액 및 폐수 배관 설치



○ 호*육묘장 고정식 육묘대 상세도(스티로폼베드)



○ 순수장치 전등, 육묘대 설치

- 육묘대 설치 및 정면부에 습도 조절 장치 설치



○ 구축 완료 시설 내부



그림24. 육묘용 식물공장 시설내부

(2) 시설제작후 시설 시범운용

○ 설치 후 운용시 문제점

- 풍량 문제 : 육묘에 바람이 강하게 작용하여 생장에 문제가 발생
- **(개선방향)** 타공판을 부분적으로 막거나 전면부에 물리적으로 막아 바람의 세기 조절
- 지하수의 흡수로 인한 배관 막힘 문제
- **(개선방향)** 현재 필터를 이용하여 걸러내는 방법을 사용
- 베드 균형문제 : 선행 과제에서는 소량생산으로 제작되어 균형이 맞았으나 대량주문으로 인한 제조사의 제작 문제 및 배송중 불량 상태가 발견
- **(개선방향)** 타사 육묘용 베드를 구입 후 설치 및 현 스티로폼 베드 개선

3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도

1) 연구수행 결과

(1) 정성적 연구개발성과

- 식물공장형육묘시스템 운영 및 접수/대목 생산기술 등을 축적하여 단기간(3년)에 시스템 보급이 가능하며, 과채류 공정 육묘 비율 10% 이상 증대 가능 및 일반 공정 육묘장의 과채류 모종의 품질에서 우위 확보 가능
- 우수한 모종 판매량의 10% 증가로 과채류(고추, 토마토, 오이, 수박) 모종 판매량도 만원으로 증가하여 농가 소득 증대 산업으로 성장 가능(육묘산업 규모 증대)

(2) 정량적 연구개발성과(해당 시 작성하며, 연구개발과제의 특성에 따라 수정이 가능합니다)

(단위 : 건, 천원)

| 성과지표명 | 연도 | | 1단계 (2020-2021) | 가중치 (%) | |
|-----------------|---------|----|--------------------|------------|----|
| 전담기관 등록·기탁 지표 | 논문 | 목표 | - | | |
| | | 실적 | 1 | | |
| | 학술발표 | 목표 | - | | |
| | | 실적 | 3 | | |
| | 특허출원 | 목표 | 1 | | 30 |
| | | 실적 | 2 | | |
| 연구개발과제 특성 반영 지표 | 정책활용 | 목표 | 1 | 30 | |
| | | 실적 | 1 | | |
| | 홍보 | 목표 | - | 40 | |
| | | 실적 | 1 | | |
| | 기타 연구활용 | 목표 | 2 | | |
| | | 실적 | 2 | | |
| 계 | 목표 | 4 | 100 | | |
| | 실적 | 10 | | | |

(3) 세부 정량적 연구개발성과

[과학적 성과]

논문(국내외 전문 학술지) 게재

| 번호 | 논문명 | 학술지명 | 주저자명 | 호 | 국명 | 발행기관 | SCIE 여부 | 게재일 | 등록번호 (ISSN) | 기여율 |
|----|---------------------------------------|------------|----------|-------|------|----------|---------|------------|----------------|-----|
| 1 | 인공광 이용 식물공장형육묘시스템의 환경 프로파일 및 오이 성장 평가 | 생물환경 조절학회지 | 안*웅, 김*겸 | 30(2) | 대한민국 | 생물환경조절학회 | 비SCIE | 2021.04.28 | 1229-4675 | 100 |

국내 및 국제 학술회의 발표

| 번호 | 회의 명칭 | 발표자 | 발표 일시 | 장소 | 국명 |
|----|-----------------|-----|-------------|-----|------|
| 1 | 한국생물환경조절학회 학술발표 | 이*진 | 2020.10.23. | 온라인 | 대한민국 |
| 2 | 한국생물환경조절학회 학술발표 | 이*진 | 2021.05.06. | 온라인 | 대한민국 |
| 3 | 한국원예학회 학술발표 | 문*현 | 2021.05.21. | 온라인 | 대한민국 |

기술 요약 정보

- 해당사항 없음

보고서 원문

| 연도 | 보고서 구분 | 발간일 | 등록번호 |
|------|--------|------------------|------------------|
| 2021 | 최종보고서 | 2021.10.12. 제출예정 | 2021.10.12. 제출예정 |

생명자원(생물자원, 생명정보)/화합물

해당사항 없음

[기술적 성과]

지식재산권(특허, 실용신안, 의장, 디자인, 상표, 규격, 신제품, 프로그램)

| 번호 | 지식재산권 등 명칭 (건별 각각 기재) | 국명 | 출원 | | | | 등록 | | | 기여율 | 활용 여부 |
|----|------------------------------------------------|------|-----|-------------|---------------------|----------|-----|-----|-------|-----|----------|
| | | | 출원인 | 출원일 | 출원 번호 | 등록 번호 | 등록인 | 등록일 | 등록 번호 | | |
| 1 | 특허출원 (식물공장형육묘시스템 생육 스케줄링에 따른 일괄 제어방법) | 대한민국 | 안*웅 | 2020.09.24. | 10-2020-012354 6 | | | | 100 | √ | |
| 2 | 특허출원 (스마트 육묘 생산 관수 관리 시스템) | 대한민국 | 안*웅 | 2020.10.20. | 10-2020-013901 4 | | | | 100 | √ | |

지식재산권 활용 유형

* 활용의 경우 현재 활용 유형에 √ 표시, 미활용의 경우 향후 활용 예정 유형에 √ 표시합니다(최대 3개 중복선택 가능).

| 번호 | 제품화 | 방어 | 전용실시 | 통상실시 | 무상실시 | 매매/양도 | 상호실시 | 담보대출 | 투자 | 기타 |
|----|-----|----|------|------|------|-------|------|------|----|----|
| | | | | | √ | | | | | |

저작권(소프트웨어, 서적 등)

해당사항 없음

신기술 지정

해당사항 없음

기술 및 제품 인증

해당사항 없음

표준화

해당사항 없음

[경제적 성과]

해당사항 없음

[사회적 성과]

법령 반영

해당사항 없음

정책활용 내용

| 번호 | 구분 (제안/채택) | 정책명 | 관련 기관 (담당 부서) | 활용 연도 | 채택 내용 |
|----|---------------|----------------------------------|-----------------------|-------|-------|
| 1 | 제안 | 식물공장형육묘시스템 이용 육묘기술 교육 프로그램 운영 | 국립종자원 (국제종자생명교육센터) | 2021 | |

설계 기준/설명서(시방서)/지침/안내서에 반영

해당사항 없음

전문 연구 인력 양성

해당사항 없음

산업 기술 인력 양성

해당사항 없음

다른 국가연구개발사업에의 활용

| 번호 | 중앙행정기관명 | 사업명 | 연구개발과제명 | 연구책임자 | 연구개발비 |
|----|---------|--------------------|----------------------------------------------------|-------|------------|
| 1 | 다부처 | 스마트팜다부처패키지혁신기술개발사업 | 빅데이터 기반 스마트 육묘 표준화 기술 개발 및 실증 | 김*곤 | 7,100 백만 원 |
| 2 | 농림축산식품부 | 기술사업화지원사업 | 폐쇄형 육묘 장치 및 엘리포트 생산 시스템의 고도화를 통한 고품질 과채류 묘 생산 실증연구 | 김*훈 | 715 백만 원 |

국제화 협력성과

해당사항 없음

홍보 실적

| 번호 | 홍보 유형 | 매체명 | 제목 | 홍보일 |
|----|-------|------|------------------------------|-------------|
| 1 | 기타 | 농업기술 | 사계절 안정 우량묘 생산-인공광 식물공장형육묘시스템 | 2021.02.01. |

포상 및 수상 실적

해당사항 없음

[인프라 성과]

해당사항 없음

[그 밖의 성과]

| 번호 | 활용명 | 발간일 | ISBN |
|----|---------------------------------|-------------|-------------------|
| 1 | 식물공장형육묘시스템 운영관리 매뉴얼 | 2021.06.21. | 978-89-480-6878-8 |
| 2 | 식물공장형육묘시스템 과채류 접수 및 대목 생산관리 매뉴얼 | 2021.06.21. | 978-89-480-6877-1 |

(4) 세부 정량적 연구개발성과 증빙자료

○ 논문게재 1건

인공광 이용 식물공장형 육묘시스템의 환경 프로파일 및 오이 생장 평가

안¹·이²·심²·안²·김³·김^{4*}

¹국립원예특작과학원 채소과 농업연구사, ²경북대학교 대학원 원예과학과 대학원생,
³한국과기산업 대표이사, ⁴경북대학교 원예과학과 교수

Profiles of Environmental Parameters in a Plant Factory with Artificial Lighting and Evaluation on Growth of Cucumber Seedlings

Sewoong An¹, Hye Jin Lee², Ha Seon Sim², Su Ran Ahn², Sung Tae Kim³, and Sung Kyeom Kim^{2*}

¹Research Scientist, Vegetable Research Division, National Institute of Horticultural and Herbal Science, 100,

Nongsaengmyeong-ro, Iseo-myeon, Wanju-gun, Jeollabuk-do 55365, Korea

²Graduate Student, Department of Horticultural Science, Graduate School of Kyungpook National University, Daegu 41566, Korea

³President, GAOOZ, Gosack-dong 936, Gwomsong-gu, Suwon-si, Gyeonggi-do 16643, Korea

⁴Professor, Department of Horticultural Science, College of Agricultural & Life Science, Kyungpook National University, Daegu 41566, Korea

Abstract. Due to the climate change such as high temperature in summer and low sunlight in winter, vegetable seedling growers have been facing difficulties to produce uniform seedlings in all four seasons. A plant factory with an artificial lighting (PFAL) would be considered as an effective alternative tool in that it can control environment conditions and produce uniform seedlings without outside weather conditions. Therefore, this study investigated changes of environment parameters, such as light uniformity, temperature and the relative humidity and uniformity of seedlings cultivated in a PFAL to evaluate plant factory transplant production system with an artificial lighting. Cucumber seedlings were grown in a PFAL at the light intensity $250 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, the photoperiod 16/8h, the temperature 25/20°C and the relative humidity 70/85%. In the light intensity uniformity, as closer to the light source from 255 to 105mm, the amount of light increased by 11 and 23%, respectively, but the standard deviation increased by 1.8 times. For the temperature and the relative humidity by four different height positions (615, 980, 1,345, 1,710 mm distance from the floor), temperature did not show much difference at each location, 24.7/19.5, 24.6/19.5, 24.7/19.4 and 24.7/19.6°C, respectively. Also, the relative did not differ by locations (71/84%). Additionally, cucumber seedling characteristics of plant height, leaf area, fresh weight and dry weight of cucumber seedlings 8 days after sowing showed highly uniform quality, 4.1 ± 0.1 cm, 24.1 ± 3.7 cm², 0.7 ± 0.13 g and 0.05 ± 0.008 g, respectively. Considering the results of environment parameter profiling and cucumber seedling uniformity, vegetable seedling production in a PFAL can be a promise tool in the era of climate change.

Additional key words : PPFD, scion, sturdy transplants, plug tray

서론

우리나라의 현대화된 공정육묘는 1990년대 초반 주년 생산을 위한 시설 원예의 발전과 더불어 연중 안정적인 모종 공급에 대한 필요성과 수요가 증가하여 도입되었으며(Lee 등, 2013), 전국적으로 300여 전분 육묘장과 195 ha의 육묘 면적으로 2,420억 원의 시장 규모를 보이고 있다(Park 등, 2014). 과거 30여 년간 산업적 규모뿐만 아니라, 파종기, 플러그 트레

이, 육묘용 상토, 접목 로봇, 접목 방법, 시비 및 환경관리, 인공광 이용 접목 활착 등 기술적으로도 눈부신 발전을 이루어 연중 안정적인 우량모 생산을 위한 육묘 기술이 확립되었다(Lee 등, 2010; Lee 등, 2013). 그러나 최근 들어 기후변화로 인하여 여름철 고온 및 겨울철 저일조 등의 이상 기상이 잦은 빈도로 발생하고 있어 사계절 균일한 규격의 채소 공정모를 생산하는데 어려움이 증가하고 있다.

기후변화 시대에 안정적으로 원예작물을 생산할 수 있는 새로운 기술로 인공광을 이용하는 식물공장 기술이 긍정적으로 고려되고 있다(Kozai와 Niu, 2020). 인공광 식물공장 기술은 사계절 외부 기상의 영향을 받지 않고 광, 온도, 이산화탄소 등

*Corresponding author :

Received April 14, 2021; Revised April 20, 2021;
Accepted April 20, 2021

○ 학술발표 3건

- 2020년 추계 생물환경조절학회 : 인공광 이용 식물공장형 육묘시스템의 환경 프로파일 및 오이 성장 평가
- 2021년 춘계 생물환경조절학회 : 식물공장형 육묘모듈의 LEDs 배열에 따른 재배상의 수평적 광량 분포
- 2021년 춘계 한국원에학회 : 식물공장형육묘시스템에서 생산된 수박의 접수 및 대목의 생장

인공광 이용 식물공장형 육묘시스템의 환경 프로파일 및 오이 성장 평가

경북대학교 농업생명과학대학 원예학과, 농촌진흥청 국립원예특작과학원 채소과

이근희, 안지현, 심지현, 안지현, 김지현

목적

- 최근 기후변화에 따른 작물 이상발생 및 병해충 발생에 따른 인공광을 이용한 식물공장형 육묘시스템의 환경 프로파일 및 오이 성장 평가
- 육묘의 생장은 작물의 수확시기 및 품질 등에 직접적인 영향을 미치기 때문에 인공광을 이용한 육묘시스템의 환경 프로파일 및 오이 성장 평가
- 본 연구는 인공광을 이용한 육묘시스템에서 생산된 수박의 접수 및 대목의 생장을 위한 육묘 모형을 개발하기 위하여 수행되었다.

방법

- 식물공장형 육묘시스템 환경 조건(주간/야간)
 - 일광 16시간, 기온 25/20°C, 상대습도 70/95% 및 광량 150μmol/m²/s
 - 광량 프로파일을 위한 측정
 - 광량: 광원으로부터 거리(255, 205 및 105mm), 150×150mm 총 45점
 - 거리 및 상대습도: 직면으로부터 615점, 980점, 1345점 및 1710mm, 총 12점
 - 오이 생산 평가를 위한 실험: 직면 조건에서 24시간 후에
 - 생장조사: 초장, 엽면적, 생체중 및 건물중(자른 후 측정)

결과

- 광량은 광원으로부터 거리가 가까워질수록 직 11.23% 증가하였으나 표준편차가 1.8배 증가하였고, 적체(근적체)의 비율은 3.7%였다.
- 육묘 모듈의 수직 위치 별 주간/야간 기준은 각각 24.719.5, 24.6/19.5, 24.7/19.4 및 24.3/19.6%로서, 모듈이 높아질수록 낮에의 적체는 없었으며, 상대습도 또한 1% 이하의 표준편차로 안정하게 유지되었다.
- 직접 광량 후 오이 모듈의 초장, 엽면적, 생체중 및 건물중은 각각 4.110.1cm, 24.143.7cm², 0.795.13g 및 0.0510.008g이었으며, 초장의 변이계수가 약 2.4% 이하로 매우 균일한 수확의 가능성을 시사하였다.
- 오이 생산에 영향을 미치는 환경변수에 매우 정밀하게 균일한 재배가 가능 하였으며, 본 식물공장형 육묘 시스템을 이용한 인공 광을 이용한 육묘 모형 개발을 위한 육묘-대목 육묘 및 수확을 목표로 하였다.

식물공장형 육묘모듈의 LEDs 배열에 따른 재배상의 수평적 광량 분포

경북대학교 농업생명과학대학 원예학과, 농촌진흥청 국립원예특작과학원 채소과

이근희, 조지현, 심지현, 문지현, 안지현, 안지현, 김지현

서론 및 목적

- 식물공장형 육묘시스템에서 육묘 모형을 위한 인공광의 균일도를 높이기 위해서는 식물공장 내 재배 환경(온도, 상대습도)을 각각의 육묘모형에 맞춰 조절할 수 있어야 한다.
- 육묘 모듈의 LEDs 배열은 육묘 시 수평적 광량 분포에 직접적인 영향을 미치기 때문에 다양한 LEDs 배열에 따른 균일한 광도 프로파일 연구가 필요하다.
- 본 연구의 목적은 다양한 LEDs 배열 조건에 따른 광량의 수평적 균일도 분석을 통해 식물공장형 육묘시스템의 모듈 최적의 LEDs 개수 및 배열을 구명하는 것이다.

재료 및 방법

- LEDs: FutuGreen-28w (FutuGreen, 1280 × 30mm)
- 광원 측정 장비: L250 (L2-COR Bioscience, Lincoln, NE, USA)
- 육묘 모듈 크기: 1200 × 600 × 300mm
- 광원 측정 거리: 2887점 (50mm 간격으로 가로 24, 세로 12 지점)
- 시정 LEDs 개수: 4, 5 개
- 시정 LEDs 배열: 7가지 AR4452 배열 등 간격 (Table 1)
- 광 시뮬레이션 프로그램: TracePro (Optical Design Software Inc., Troy, MA, USA)

결과 및 결론

- LEDs가 4개 및 5개 배열 조건은 각각 216148.9 및 267164.0 μmol·m⁻²·s⁻¹로, 광량과 광속(조도, lux)은, 각각 수직의 중심에서 상하로 갈수록 광량 0.00 μmol·m⁻²·s⁻¹ 이상이었다.
- 광원 배열 방식에 따라 광량 분포를 조절할 수 있으나 높이는 어둡게 5개 LEDs가 적합하다고 나타났다.
- 7가지 LEDs 배열에 따른 광량의 수평적 균일도를 비교하였을 때, AR44527 또는 LEDs 배열 시 광량은 201420.0 μmol·m⁻²·s⁻¹ 정도가 표준편차(계)였으며, 기존 AR4452를 총 광량이 가장 높았다. (Fig. 1)
- 상하의 광량 및 시뮬레이션 광량을 3대 1로 상하에 균등한 결과, 최적의 수치는 R²=0.51로 나타났다. (Fig. 2)
- 시뮬레이션 프로그램을 통해 재배 상의 광량 분포를 육묘모형에 맞춰 재배에 따라 실제와 차이가 없는 것으로 나타났으며, 광량과 수확을 늘릴 수 있도록 재배에 최적화된 시뮬레이션이 가능할 것으로 기대된다.

식물공장형육묘시스템에서 생산된 수박의 접수 및 대목의 생장

경북대학교 농업생명과학대학 원예학과, 농촌진흥청 국립원예특작과학원 채소과

이근희, 조지현, 심지현, 문지현, 안지현, 안지현, 김지현

서론 및 목적

- 육묘의 균일도(수확량)은 육묘의 수확량이 증가함에 따라 고출력 광원으로 생산에 도움을 주고 있다. 고출력 광원으로 생산을 위해서는 최적의 광원 분포가 필요하다.
- 본 연구는 고출력 광원 분포를 위한 식물공장형육묘시스템의 광원 분포를 평가하기 위해 실시되었다.

재료 및 방법

- 시험재료: 육묘-접수 수확 및 대목 육묘용 광원
 - 광원: 초점거리(거리) 2500cm, 광량 150μmol·m⁻²·s⁻¹, 일광 16시간, 상대습도 70/95%
 - 광원 크기: EC 1.5m·m², 육묘수용량 60% 및 시정 수직 거리
 - 광원 위치: 3D(3D AT 1, DAT 5, DAT 6)
 - 광원 조사 방향: 정면
 - 광원 프로파일: 정면/측면
 - 광원 온도: 10(시정), 10(측면) 및 광량(12지점)
 - 시정: 직면으로부터 615점, 980점, 1345점, 1710점, 2075점(T)

결과 및 결론

- 접수(4개 및 5개 배열)는 각각 216148.9 및 267164.0 μmol·m⁻²·s⁻¹로, 광량과 광속(조도, lux)은, 각각 수직의 중심에서 상하로 갈수록 광량 0.00 μmol·m⁻²·s⁻¹ 이상이었다.
- 광원 배열 방식에 따라 광량 분포를 조절할 수 있으나 높이는 어둡게 5개 LEDs가 적합하다고 나타났다.
- 7가지 LEDs 배열에 따른 광량의 수평적 균일도를 비교하였을 때, AR44527 또는 LEDs 배열 시 광량은 201420.0 μmol·m⁻²·s⁻¹ 정도가 표준편차(계)였으며, 기존 AR4452를 총 광량이 가장 높았다. (Fig. 1)
- 상하의 광량 및 시뮬레이션 광량을 3대 1로 상하에 균등한 결과, 최적의 수치는 R²=0.51로 나타났다. (Fig. 2)
- 시뮬레이션 프로그램을 통해 재배 상의 광량 분포를 육묘모형에 맞춰 재배에 따라 실제와 차이가 없는 것으로 나타났으며, 광량과 수확을 늘릴 수 있도록 재배에 최적화된 시뮬레이션이 가능할 것으로 기대된다.

— 131 —

관인생략

출원번호통지서

출원 일자 2020.09.24
특기 사항 심사청구(유) 공개신청(무) 참조번호(RDAP200022)
출원 번호 10-2020-0123546 (접수번호 1-1-2020-1016261-25)
 (DAS접근코드 093B)
출원인 명칭 대한민국(농촌진흥청장)(2-1998-005031-4)
대리인 성명 특허법인피씨알(9-2014-100081-1)
발명자 성명 안, ...
발명의 명칭 식물공장형육묘시스템 생육 스케줄링에 따른 일광 제어방법

특 허 청 장

<< 안내 >>

1. 귀하의 출원은 위와 같이 정상적으로 접수되었으며, 이후의 심사 진행상황은 출원번호를 통해 확인하실 수 있습니다.
2. 출원에 따른 수수료는 접수일로부터 다음날까지 동봉된 납입영수증에 성명, 납부자번호 등을 기재하여 가까운 우체국 또는 은행에 납부하여야 합니다.
 ※ 납부자번호 : 0131(기관코드) + 접수번호
3. 귀하의 주소, 연락처 등의 변경사항이 있을 경우, 즉시 [특허고객번호 정보변경(경정), 정정 신고서]를 제출하여야 출원 이후의 각종 통지서를 정상적으로 받을 수 있습니다.
 ※ 특허포(patent.go.kr) 접속 > 민원서비스다운로드 > 특허법 시행규칙 별지 제5호 서식
4. 특허(실용신안등록)출원은 명세서 또는 도면의 보정이 필요한 경우, 등록결정 이전 또는 의견서 제출기간 이내에 출원서에 최초로 첨부된 명세서 또는 도면에 기재된 사항의 범위 안에서 보정할 수 있습니다.
5. 외국으로 출원하고자 하는 경우 PCT 제도(특허·실용신안)나 마드리드 제도(상표)를 이용할 수 있습니다. 국내출원일을 외국에서 인정받고자 하는 경우에는 국내출원일로부터 일정한 기간 내에 외국에 출원하여야 우선권을 인정받을 수 있습니다.
 ※ 제도 안내 : <http://www.kipo.go.kr>-특허마당-PCT/마드리드
 ※ 우선권 인정기간 : 특허·실용신안은 12개월, 상표·디자인은 6개월 이내
 ※ 미국특허상표청의 선출원을 기초로 우리나라에 우선권주장출원 시, 선출원이 미공개상태이면, 우선일로부터 16개월 이내에 미국특허상표청에 [전자적교환허가서(PTO/SB/39)]를 제출하거나 우리나라에 우선권 증명서류를 제출하여야 합니다.
6. 본 출원사실을 외부에 표시하고자 하는 경우에는 아래와 같이 하여야 하며, 이를 위반할 경우 관련법령에 따라 처벌을 받을 수 있습니다.
 ※ 특허출원 10-2010-0000000, 상표등록출원 40-2010-0000000

관인생략

출원번호통지서


출원 일자 2020.10.26
특기 사항 심사청구(유) 공개신청(무) 참조번호(RDAP200010)
출원 번호 10-2020-0139014 (접수번호 1-1-2020-1131352-02)
 (DAS접근코드 739B)
출원인 명칭 대한민국(농촌진흥청장)(2-1998-005031-4)
대리인 성명 특허법인피씨알(9-2014-100081-1)
발명자 성명 안
발명의 명칭 스마트 육묘 생산 관수 관리 시스템

특 허 청 장

<< 안내 >>

1. 귀하의 출원은 위와 같이 정상적으로 접수되었으며, 이후의 심사 진행상황은 출원번호를 통해 확인하실 수 있습니다.
2. 출원에 따른 수수료는 접수일로부터 다음날까지 동봉된 납입영수증에 성명, 납부자번호 등을 기재하여 가까운 우체국 또는 은행에 납부하여야 합니다.
 ※ 납부자번호 : 0131(기관코드) + 접수번호
3. 귀하의 주소, 연락처 등의 변경사항이 있을 경우, 즉시 [특허고객번호 정보변경(경정), 정정 신고서]를 제출하여야 출원 이후의 각종 통지서를 정상적으로 받을 수 있습니다.
 ※ 특허포(patent.go.kr) 접속 > 민원서비스다운로드 > 특허법 시행규칙 별지 제5호 서식
4. 특허(실용신안등록)출원은 명세서 또는 도면의 보정이 필요한 경우, 등록결정 이전 또는 의견서 제출기간 이내에 출원서에 최초로 첨부된 명세서 또는 도면에 기재된 사항의 범위 안에서 보정할 수 있습니다.
5. 외국으로 출원하고자 하는 경우 PCT 제도(특허·실용신안)나 마드리드 제도(상표)를 이용할 수 있습니다. 국내출원일을 외국에서 인정받고자 하는 경우에는 국내출원일로부터 일정한 기간 내에 외국에 출원하여야 우선권을 인정받을 수 있습니다.
 ※ 제도 안내 : <http://www.kipo.go.kr>-특허마당-PCT/마드리드
 ※ 우선권 인정기간 : 특허·실용신안은 12개월, 상표·디자인은 6개월 이내
 ※ 미국특허상표청의 선출원을 기초로 우리나라에 우선권주장출원 시, 선출원이 미공개상태이면, 우선일로부터 16개월 이내에 미국특허상표청에 [전자적교환허가서(PTO/SB/39)]를 제출하거나 우리나라에 우선권 증명서류를 제출하여야 합니다.
6. 본 출원사실을 외부에 표시하고자 하는 경우에는 아래와 같이 하여야 하며, 이를 위반할 경우 관련법령에 따라 처벌을 받을 수 있습니다.
 ※ 특허출원 10-2010-0000000, 상표등록출원 40-2010-0000000

○ 정책제안 1건



일자리가 생량이고 복지입니다

국립원예특작과학원

농촌진흥청


수신 국립종자원장(국제종자생명교육센터장)
(경유)
제목 채소 육묘 기술 향상 교육 프로그램 운영 정책 제안

1. 귀 기관의 무궁한 발전을 기원합니다.

2. 채소 육묘 산업 발전을 위해 육묘 농가의 기술 향상을 위한 교육 프로그램 운영을 아래와 같이 제안하오니 검토 부탁드립니다.

| 구분 | 주관과제명(세부과제명) | 정책 제안 내용 |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|
| 농진청 | 접목로봇 연계 과채류 규격묘 생산 식물공장형육묘시스템 개발 (접목 로봇에 적합한 인공광 이용 과채류 접수 및 대목 규격묘 생산 기준과 적정 온도 환경 규명) | 채소 접목묘 생산 심화 교육 프로그램 운영 |
| I/PET | 인공광 이용 고효율 육묘생산시스템 표준모델 개발 및 실증 (인공광 식물공장형육묘시스템 표준 모델 및 과채류 접수/대목 생산 매뉴얼 현장 실증 평가) | 식물공장형육묘시스템 이용 육묘 기술 교육 프로그램 운영 |

붙임 1. 채소 접목묘 생산 심화 교육 프로그램 운영 1부
2. 식물공장형육묘시스템 이용 육묘 기술 교육 프로그램 운영 1부. 끝.



국립원예특작과학원장

농업연구사 : 농업연구관 채소과장 전광2020.9.1.
참조자
시행 채소과-1636 (2020. 9. 1.) 접수
부 전라북도 완주군 이서면 농생명로 100 /
전화번호 팩스번호 / / 부분공개(2)
핵심적 보충자가 구한

1 - 1

| 양 식 | 정책건의/시행 * 정부시책, 법령개정, 매뉴얼(지침), 시스템 반영 등 | | |
|------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|---------------|
| 과제명 | 인공광 이용 고효율 육묘시스템 표준모델 개발 및 실증 | | |
| 건의명 | 식물공장형육묘시스템 이용 육묘기술 교육 프로그램 운영 | | |
| 주관부처 (담당자) | 국립종자원 국제종자생명교육센터 (박 진 주무관.) | 건의일자 (제출일) | 2020년 09월 01일 |
| 시책명 | 식물공장형육묘시스템 이용 육묘기술 교육 프로그램 운영 | 시행일 (시행예정일) | 년 월 일 |
| 주요내용 요약 | <ul style="list-style-type: none"> ○ (제안배경) 여름철 고온, 여름 및 겨울 일조 부족 등 기후변화 및 이상기상에 따라 균일한 접수 및 대목 생산의 어려움 증가로 연중 안정적 규격묘 생산과 친환경 모종 생산이 가능한 인공광 이용 식물공장형 육묘 시설의 설치와 요구가 높아지고 있으나, 식물공장형 육묘시스템을 이용한 육묘 기술에 대한 교육은 부재함 ○ (제안내용) 식물공장형육묘시스템을 이용한 모종 생산을 준비하는 육묘 농가, 채소 접목묘 육묘장 생산 관리자 및 대학생 등을 대상으로 식물공장형육묘시스템 이용 육묘 기술 교육 프로그램 운영을 제안함 | | |
| 기대효과 | <ul style="list-style-type: none"> ○ (기대효과) 식물공장형육묘시스템 이용 모종 생산 기술 이해도 식물공장형육묘시스템 도입 준비 육묘 농가의 진입 장벽 해소 및 기후변화/이상기상 대응 연중 안정적인 우량 규격묘 생산으로 국내 농작물 생산성 향상 ○ (파급효과) 식물공장형육묘시스템 이용 모종 생산 기술 이해도 식물공장형육묘시스템 도입 준비 육묘 농가의 진입 장벽 해소 및 기후변화/이상기상 대응 연중 안정적인 우량 규격묘 생산으로 국내 농작물 생산성 향상 | | |
| 증빙자료 1 (하단별첨) | * 제출 공문 및 건의내용 | | |
| 증빙자료 2 (하단별첨) | * 정부시책 및 법령(개정) 결과물 등 | | |

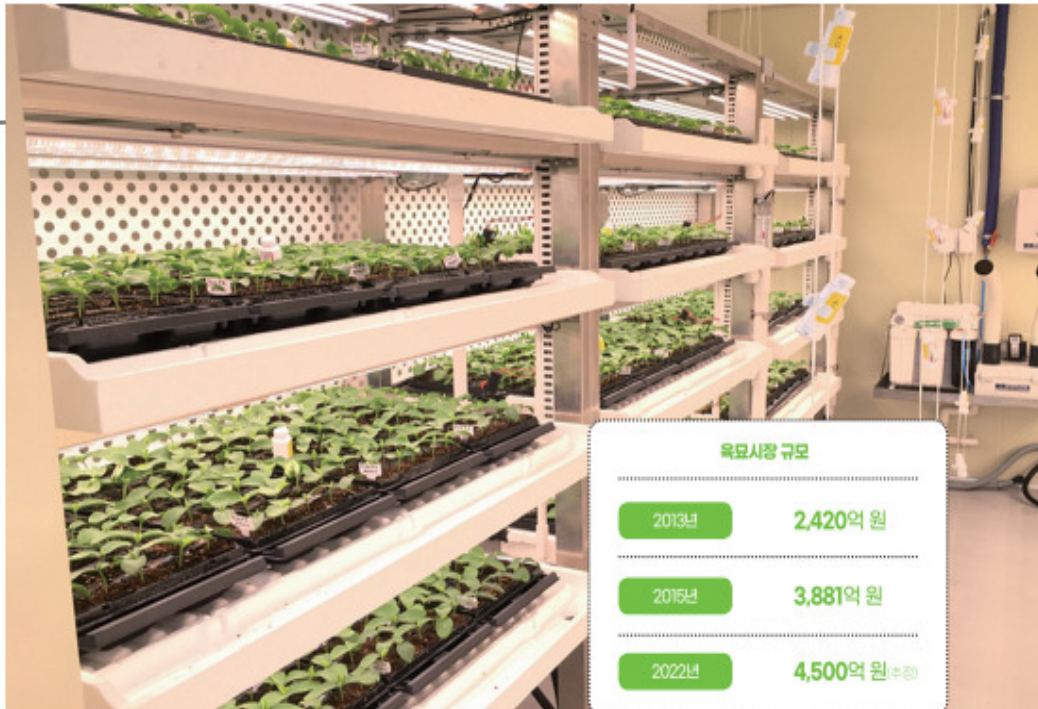
핵심 농업기술

사계절 안정 우량묘 생산

인공광 식물공장형 육묘시스템

김_민세용
국립원예특작과학원 채소과
063-238-6662

우리나라 채소 육묘 산업은 1990년 초반 현대화된 공장육묘 시스템 기술을 도입한 이후 농업의 전문화와 분업화로 지속적으로 성장하고 있다. 그 결과 노동력 절감, 종자 사용량 절감 및 농지 활용도 향상 등을 위해 채소 농가의 구입묘 이용이 증가하였다. 국내 육묘시장 규모는 2013년 2,420억 원, 2015년 3,881억 원으로 2022년에는 4,500억 원까지 증가할 것으로 추정하고 있다. 과거 30여 년간 우량묘 생산을 위한 파종기, 트레이, 점목묘 생산 기술, LED 활착실, 점목 로봇 등 비약적인 기술 발전을 이루었으나, 기후변화로 인한 여름철 고온 및 겨울철 일조 부족 현상으로 인해 우량묘 생산의 어려움이 날로 증가하고 있다.



○ 매뉴얼 발간 2건

농림식품기술기획평가원 “인공광 이용 고효율 육묘생산시스템 표준모듈 개발 및 실증” 연구결과를 반영하여 제작하였음

**식물공장형육묘시스템
운영관리 매뉴얼**

Handbook of operation and management in a plant factory for transplants production

발행 2021년 6월 21일
발행인 국립원예특작과학원 황정환
기획 안세용
저자 이혜진, 문유현, 안세용, 김성겸
발행처 농촌진흥청 국립원예특작과학원 원예작물부 채소과
 55365 전라북도 원주군 이서면 농성영로 100
 Tel. 063)238-6652

인쇄처 진흥기획인쇄 063) 211-5589
ISBN 978-89-480-6878-8 93520

농림식품기술기획평가원 “인공광 이용 고효율 육묘생산시스템 표준모듈 개발 및 실증” 연구결과를 반영하여 제작하였음

**식물공장형육묘시스템
과채류 접수 및 대목 생산관리 매뉴얼**

Handbook of cultivation and management in a plant factory for scion and stock of fruit vegetable production

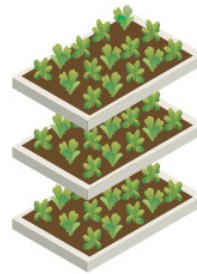
발행 2021년 6월 21일
발행인 국립원예특작과학원 황정환
기획 안세용
저자 이혜진, 문유현, 안세용, 김성겸
발행처 농촌진흥청 국립원예특작과학원 원예작물부 채소과
 55365 전라북도 원주군 이서면 농성영로 100
 Tel. 063)238-6652

인쇄처 진흥기획인쇄 063) 211-5589
ISBN 978-89-480-6877-1 93520

CONTENTS



| | | |
|-----------|------------|-----|
| 01 | 육묘 시스템 개요 | 4p |
| 02 | 육묘 시스템 사용법 | 14p |
| 03 | 이상작동 대처요령 | 44p |



CONTENTS

| | | |
|-----------|--------------------|-----|
| 01 | 과채류 접수/대목 육묘 개요 | 5p |
| 02 | 과채류 접수/대목 육묘 자재 | 13p |
| 03 | 과채류 접수/대목 육묘 환경 관리 | 25p |
| 04 | 과채류 접수/대목 생산 공정 | 35p |



(5) 계획하지 않은 성과 및 관련 분야 기여사항

- 논문게재(KSCI 1건), 학술발표 3건

2) 목표 달성 수준

| 추진 목표 | 달성 내용 | 달성도 (%) |
|------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| (특허출원) 식물공장형육묘시스템 구성품과 관련 | (특허출원) 식물공장형육묘시스템 생육 스케줄링에 따른 일괄 제어방법, 스마트 육묘 생산 관수 관리 시스템 | 100 |
| (정책제안) 인공광이용 식물공장형육묘시스템 보급 확산 지원사업 | (정책제안) 식물공장형육묘시스템을 이용한 모종 생산을 준비하는 육묘 농가, 채소 접목육묘장 생산 관리자 및 대학생 등을 대상으로 식물공장형육묘시스템 이용 육묘 기술 교육 프로그램 운영을 제안함 | 100 |
| (매뉴얼 제작) 식물공장형육묘시스템 H/W, S/W 관련 | (매뉴얼 개발) 식물공장형육묘시스템 운영관리 매뉴얼, 식물공장형육묘시스템 과채류 접수 및 대목 생산관리 매뉴얼 개발 | 100 |

4. 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도

- 기존에 소규모의 연구개발 장치였던 식물공장형육묘시스템을 본 과제를 통하여 규모화하여 개발하고 운영·생산 매뉴얼까지 구축하였기 때문에 다른 공정육묘장에 보급 확산이 가능하며 이런 시스템을 운영할 수 있는 전문가 양성 교육프로그램까지도 개발 가능하게 되었음

5. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획

| 구분(정량 및 정성적 성과 항목) | | 연구개발 종료 후 5년 이내 | |
|--------------------|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| 국외논문 | SCIE | 0.2 | |
| | 비SCIE | | |
| | 계 | 0.2 | |
| 국내논문 | SCIE | | |
| | 비SCIE | | |
| | 계 | | |
| 특허출원 | 국내 | | |
| | 국외 | | |
| | 계 | | |
| 특허등록 | 국내 | | |
| | 국외 | | |
| | 계 | | |
| 인력양성 | 학사 | | |
| | 석사 | 0.2 | |
| | 박사 | | |
| | 계 | 0.2 | |
| 사업화 | 상품출시 | | |
| | 기술이전 | | |
| | 공정개발 | | |
| 제품개발 | 시제품개발 | | |
| 비임상시험 실시 | | | |
| 임상시험 실시 (IND 승인) | 의약품 | 1상 | |
| | | 2상 | |
| | | 3상 | |
| | 의료기기 | | |
| 진료지침개발 | | | |
| 신의료기술개발 | | | |
| 성과홍보 | | | |
| 포상 및 수상실적 | | | |
| 정성적 성과 주요 내용 | | 선진 공정 육묘장에서 모종의 수출 그리고 차별화된 고품질의 규격 모종 생산을 위해서는 기존의 육묘장 시스템으로는 한계가 있으므로 이를 해결하는 현장에 로기술로 식물공장형육묘시스템의 보급과 활용이 가능할 것으로 판단됨 | |

6. 참고문헌

- 김연중, 한혜성, 2013, 식물공장의 전망과 정책 과제, 한국농촌경제연구원.
- 김인수, 이지선, 박병관, 김혜연, 구자준, 강태혁, 2020, 저비용, 고효율을 위한 재배베드 시스템, 공조시스템, 인공광원 시스템, 센싱 시스템의 표준화 기술개발.
- 김형곤, 최유화, 김용현. 2019. LED 모듈의 광질 및 점멸주기에 따른 오이접목묘의 활착 및 생장 특성. 생물환경조절학회지 28(2), 143-149.
- 박기환, 박현태, 한혜성. 2011. 육묘산업의 실태와 발전 방안. 한국농촌경제연구원.
- 박기환, 윤종열, 강두현, 최익창. 2020. 2019년 육묘업 실태조사. 한국농촌경제연구원.
- 박선우, 안세웅, 곽유리나. 2020. 식물공장형육묘시스템 내 광량에 따른 오이와 토마토 접수 및 대목의 증발산량 및 생육 변화. 생물환경조절학회지 29(4), 399-405.
- 박종석, 손정익, 이종원, 이준구, 황승재, 오명민, 2016, 식물공장 증장기 정책 수립 방안 연구. 안세웅. 2017. 2017년 공정육묘 생산실태 조사 결과 보고서. 농촌진흥청.
- 안세웅, 김성겸, 곽유리나. 2018. ICT 기반 공정묘 생산 관리를 위한 생육 모델 개발. 농촌진흥청.
- 안세웅. 2020. 접목로봇 연계 과채류 규격묘 생산 식물공장형육묘시스템 개발. 농촌진흥청.
- 안세웅, 이해진, 심하선, 안수란, 김성태, 김성겸. 2021. 인공광 이용 식물공장형육묘시스템의 환경 프로파일 및 오이 생장 평가. 생물환경조절학회지 30(2), 126-132.
- 안세웅. 2021. 식물공장형육묘시스템 내 주야간온도차 및 광량에 따른 수박 접수 및 대목의 생육 변화. 생물환경조절학회지 30(2), 133-139.
- 장영주, 김태우, 2019, 스마트팜 확산, 보급 사업 현황과 과제.
- 장윤아, 2009, 공정육묘 현황 분석 및 발전 방안. 육묘산업 현황 분석과 현장애로 해결 방안 토론회 자료집. 농촌진흥청.
- 장윤아, 이해진, 최장선, 엄영철, 이상규. 2014. 인공광형 폐쇄형 육묘시스템 내 광량 및 플러그 트레이 규격에 따른 오이 접수 및 호박대목의 생육특성. 생물환경조절학회지 23(4), 383-390.
- 전창후, 곽유리나. 2016. 육묘기술 현황 및 발전대책. 한국종자연구회, 한국공정육묘연구회 공동 심포지엄 자료집. 농촌진흥청.
- Akiyama, T., & Kozai, T. (2016). Light environment in the cultivation space of plant factory with LEDs. In LED Lighting for Urban Agriculture (pp. 91-109). Springer, Singapore.
- Cho, Y.Y., K.Y. Choi, Y.B. Lee, and J.E. Son. 2012. Growth characteristics of sowthistle (*Ixeris dentata* Nakai) under different levels of light intensity, electrical conductivity of nutrient solution, and planting density in a plant factory. Hort. Environ. Biotechnol. 53: 368-372.
- Chun, C., & Kozai, T. (2000). Closed transplant production system at Chiba University. In Transplant production in the 21st century (pp. 20-27). Springer, Dordrecht.
- Kim, S.K., P.J. Seo, and C. Chun. 2005. Development of a transplant production module using artificial lighting for high quality vegetable transplant production. Kor J Hort Sci Technol 23:388-395.
- Kozai, T., C. Kubota, C.Chun, F. Afreen, and K. Ohyama. 2000. Necessity and concept of the closed transplant production system, in: Kubota, C., Chun, C. (Eds.), Transplant production in the 21st century. Kluwer Academic Publisher Dordrecht, pp. 3-19.

- Kozai, T. 2012. Plant factory with artificial light. Ohmsha, Tokyo.
- Kwack, Y., S. Ahn, and S.K. Kim. 2021. Development of growth model for grafted hot pepper seedlings as affected by air temperature and light intensity. *Sustainability* 13,5895.
- Hwang H., S. An, M.D. Pham, M. Cui, and C. Chun 2020, The Combined Conditions of Photoperiod, Light Intensity, and Air Temperature Control the Growth and Development of Tomato and Red Pepper Seedlings in a Closed Transplant Production System. *Sustainability* 12:9939.
- Hwang, H.S., S. Ahn, B. Lee, and C. Chun. 2020. Improvement of Growth and Morphology of Vegetable Seedlings with Supplemental Far-Red Enriched LED Lights in a Plant Factory. *Horticulturae* 6, 109.
- Shimizu, H. (2016). Effect of light quality on secondary metabolite production in leafy greens and seedlings. In *LED lighting for urban agriculture* (pp. 239-260). Springer, Singapore.
- Ting, K. C., Lin, T., & Davidson, P. C. (2016). Integrated urban controlled environment agriculture systems. In *LED lighting for urban agriculture* (pp. 19-36). Springer, Singapore.
- Zaharia, M., & Gogonea, R. M. (2019). Food Consumption Expenditure and Standard of Living in Romania. In *Urban Agriculture and Food Systems: Breakthroughs in Research and Practice* (pp. 144-173). IGI Global.

자체평가의견서

1. 과제현황

| | | | | | |
|-----------------------|---------------------------------|-------------|---------|------------|---------|
| | | 과제번호 | | 320088-1 | |
| 사업구분 | 농식품기술개발사업 | | | | |
| 연구분야 | 시설원예 | | 과제구분 | | 단위 |
| 사업명 | 1세대 스마트 플랜트팜 산업화 | | | | 주관 |
| 총괄과제 | 기재하지 않음 | | 총괄책임자 | 기재하지 않음 | |
| 과제명 | 인공광 이용 고효율 육묘생산시스템 표준모듈 개발 및 실증 | | 과제유형 | (기초,응용,개발) | |
| 연구개발기관 | 경북대학교 산학협력단 | | 연구책임자 | 김성겸 | |
| 연구기간 연구개발비 (천원) | 연차 | 기간 | 정부 | 민간 | 계 |
| | 1차년도 | 20.7.~21.7. | 500,000 | 166,667 | 666,667 |
| | 2차년도 | | | | |
| | 3차년도 | | | | |
| | 4차년도 | | | | |
| | 5차년도 | | | | |
| 계 | | | | | |
| 참여기업 | 해당사항없음 | | | | |
| 상대국 | 해당사항없음 | 상대국연구개발기관 | 해당사항없음 | | |

※ 총 연구기간이 5차년도 이상인 경우 셀을 추가하여 작성 요망


2. 평가일 : 2021.09.

3. 평가자(연구책임자) :

| | | |
|-------------|-----|-----|
| 소속 | 직위 | 성명 |
| 경북대학교 원예과학과 | 조교수 | 김성겸 |

4. 평가자(연구책임자) 확인 :

본인은 평가대상 과제에 대한 연구결과에 대하여 객관적으로 기술하였으며, 공정하게 평가하였음을 확약하며, 본 자료가 전문가 및 전문기관 평가 시에 기초자료로 활용되기를 바랍니다.

| | |
|-----|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 확 약 |  |
|-----|---------------------------------------------------------------------------------------|

I. 연구개발실적

1. 연구개발결과의 우수성/창의성

■ 등급 : 우수, 보통, 미흡, 극히불량)

식물공장형육묘시스템의 현장실증을 목적으로 설치 요구가 강하였던 한국육묘산업회 회원인 호반영농조합법인에 약 131m² 규모로 시스템을 설치하였다. 이 시스템에 대한 성능(환경제어능력 등)을 현장에서 평가하였고, 접수/대목을 연중 균일하게 생산할 수 있는 시스템 운영 및 생산관리 매뉴얼을 개발하였다. 현재까지 연구개발에 머물러 있었던 식물공장형육묘시스템을 상용화(7만주/1회 생산 규모)하여 실증한 최초 연구과제로 판단된다.

2. 연구개발결과의 파급효과

■ 등급 : 우수, 보통, 미흡, 극히불량)

이상기상이 빈번하여 연중 균일하며 안정하게 모종을 생산하는 새로운 육묘시스템이 요구되었다. 식물공장육묘시스템은 외부 기상에 영향을 받지 않기 때문에 균일한 모종 생산이 가능하다. 기존에 소규모의 연구개발 장치였던 식물공장형육묘시스템을 본 과제를 통하여 규모화하여 개발하고 운영·생산 매뉴얼까지 구축하였기 때문에 다른 공정육묘장에 보급 확산이 가능하며(정책자금 투여) 이런 시스템을 운영할 수 있는 전문가 양성 교육프로그램까지도 개발 가능하다.

3. 연구개발결과에 대한 활용가능성

■ 등급 : 우수, 보통, 미흡, 극히불량)

식물공장형육묘시스템의 기술이전 및 산업화(인력채용, 제품화)에서는 국내 육묘산업의 시장규모가 충분히 성장하지 않은 주변 여건이 조성되어 있으므로 현실적으로 즉시 제품화하여 이를 통한 기업의 윤리창출에 있어서는 불리하다. 그러나 선진 공정육묘장에서는 모종의 수출 그리고 차별화된 고품질의 규격 모종 생산을 위해서는 기존의 육묘장 시스템으로는 한계가 있으므로 이를 해결하는 현장애로기술로 식물공장형육묘시스템의 보급과 활용이 가능할 것으로 판단된다.

4. 연구개발 수행노력의 성실도

■ 등급 : 우수, 보통, 미흡, 극히불량)

현장에 실용화 가능한 식물공장형육묘시스템 설계·시공, 시범 운영을 위하여 참여연구진들은 현장 미팅(5회)을 비롯하여 온라인 비대면의 협의회(10회)을 개최하였다. 식물공장형육묘시스템의 생산관리와 운영관리 매뉴얼을 제작하기 위하여 현장에서 체류하면서 실증 실험을 진행하였다(2개월). 매뉴얼 책자 발간(2), 특허출원(2), 정책제안(1), 학술발표(3), 논문게재(1), 홍보실적(1) 등 정량적 연구성과에서도 매우 우수하였다.

5. 공개발표된 연구개발성과(논문, 지적소유권, 발표회 개최 등)

■ 등급 : 우수, 보통, 미흡, 극히불량)

식물공장형육묘시스템의 현장실증 결과를 토대로 작성된 매뉴얼을 공정육묘장 이해당사자들에게 발표회를 개최하여 보고하였다. 그리고 식물공장육묘시스템의 현장에서 환경 프로파일한 결과들을 생물환경조절학회지에 논문으로 게재하였다. 특히, 광추적 시뮬레이션 기법, 유동장해석을 위한 CFD기법등을 활용하여 식물공장형육묘시스템의 육묘 모듈 설계의 효율성을 개선하였고, 이러한 결과들은 국제적학술지에도 논문으로 작성하여 보고할 예정이다.

II. 연구목표 달성도

| 세부연구목표 (연구계획서상의 목표) | 비중 (%) | 달성도 (%) | 자체평가 |
|------------------------|-----------|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 특허출원(1건) | 30 | 200 | - 핵심기술 특허출원 2건 '생육 스케줄링에 따른 일괄제어법', '스마트 육묘 관수 관리 시스템' 출원번호:0-2020-0139014, 10-2020-0123546 |
| 정책제안(1건) | 30 | 100 | - 현장실증의 실험과 연구결과 바탕 '식물공장형육묘시스템 운영 및 생산 육묘전문가 양성 프로그램 제안' |
| 매뉴얼개발(2건) | 40 | 100 | - 과채류 접수/대목 생산관리 매뉴얼 - 식물공장형육묘시스템 운영관리 매뉴얼 발간등록번호:11-1390804-00819-01, 11-1390804-000820-01 |
| 논문게재 | | | - 생물환경조절학회지, 2021 30:126-132 논문게재 1건 '식물공장형 육묘시스템의 환경 프로파일 및 오이 생장 평가' [연구계획서상 제시하지 않았음] |
| 합계 | 100점 | | |

III. 종합의견

1. 연구개발결과에 대한 종합의견

현재까지 연구개발에 머물러 있었던 식물공장형육묘시스템을 상용화(7만주/회 생산 규모)하여 실증한 최초 연구과제로 판단된다. 선진 공정육묘장에서는 모종의 수출 그리고 차별화된 고품질의 규격 모종 생산을 위해서는 기존의 육묘장 시스템으로는 한계가 있으므로 이를 해결하는 현장애로기술로 식물공장형육묘시스템의 보급과 활용이 가능할 것으로 판단된다. 이를 위한 식물공장형육묘시스템 과채류 접수/대목 생산관리 매뉴얼과 운영관리 매뉴얼을 개발하였고 이를 책자로 발간하였다.

2. 평가시 고려할 사항 또는 요구사항

1년간의 단기연구과제이며, 식물공장형육묘시스템을 실제 현장에 설치하고 이를 시범 운영하면서 과채류 접수/대목 생산 가능성에 대하여 실증한 실험 연구로 산업화의 핵심 지표들인 제품화, 기업의 매출증대, 고용창출 및 투자유치의 성과물은 도출하기 어려울 것으로 판단된다.

3. 연구결과의 활용방안 및 향후조치에 대한 의견

선진 공정육묘장들을 대상으로 식물공장형육묘시스템의 도입의사를 정성적인 지표로 판별하여 정책자금 지원을 위한 신규보급 사업으로 확대 추진해야 한다. 미래 디지털농업 추진 정책방향에 있어 계획 예측 모종 생산이 가능한 식물공장형육묘시스템을 전국 공정육묘장에 보급하는 것이 시급하며 이를 위한 정책개발 용역도 추진하여 제도적 근거도 함께 제시하고 마련하도록 하겠다.

IV. 보안성 검토

해당사항없음

※ 보안성이 필요하다고 판단되는 경우 작성함.

1. 연구책임자의 의견

해당사항없음

2. 연구개발기관 자체의 검토결과

해당사항없음

연구성과 활용계획서

1. 연구과제 개요

| | | | | |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-------------------|-----------|
| 사업추진형태 | <input type="checkbox"/> 자유응모과제 <input checked="" type="checkbox"/> 지정공모과제 | 분 야 | 1세대 스마트팜 산업화 기술개발 | |
| 연구과제명 | 인공광 이용 고효율 육묘생산시스템 표준 모델 개발 및 실증 | | | |
| 주관연구개발기관 | 경북대학교 산학협력단 | 주관연구책임자 | 김성겸 | |
| 연구개발비 | 정부지원 연구개발비 | 기관부담연구개발비 | 기타 | 총연구개발비 |
| | 500,000천원 | 166,667천원 | | 666,667천원 |
| 연구개발기간 | 2020.07.03. -2021.07.02. | | | |
| 주요활용유형 | <input type="checkbox"/> 산업체이전 <input checked="" type="checkbox"/> 교육 및 지도 <input checked="" type="checkbox"/> 정책자료 <input type="checkbox"/> 기타() <input type="checkbox"/> 미활용 (사유:) | | | |

2. 연구목표 대비 결과

| 당초목표 | 당초연구목표 대비 연구결과 |
|--------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ① 식물공장형육묘시스템 성능 테스트(현장) | <ul style="list-style-type: none"> - 식물공장형육묘시스템 현장 설치(약 131m²) - 5단 육묘모듈 총 24기(최대 약 7만주/회 모종 생산 규모)의 환경 제어 값(온도, 습도, 광도 등)과 실측값 오차 테스트 실시(2차례) - 육묘 모듈의 수평적 광도 분포 균일(변이계수 13.2, 설정한 값과 유사하게 제어) - 온·습도 제어값과 실측값 유의적 오차 없음 - 식물공장형육묘시스템 제어 정밀도 우수 (논문게재) ‘식물공장형 육묘시스템의 환경 프로파일’ 2021. 생물환경조절학회지, 30:126-132. |
| ② 식물공장형육묘시스템 과채류 생산 매뉴얼개발 | <ul style="list-style-type: none"> - 과채류 접수/대목 생산관리 매뉴얼 개발 (책자발간) 발간등록번호 11-1390804-00819-01 - 오이, 수박, 토마토, 고추의 접수/대목 생산과 관련된 육묘 자재, 환경관리 방법, 생산 공정에 관한 현장실증 결과 토대로 작성 (정책제안) 식물공장형육묘시스템 이용 육묘 기술 교육 프로그램 운영 |
| ③ 과채류 접수/대목 생산 과정 개선 사항 분석(현장) | <ul style="list-style-type: none"> - 식물공장형육묘시스템의 문제점(광도 분균일, 온 습도의 수직적 편차, 관수스케줄 조정 등) 도출→ 해결방안 특허출원 2건(10-2020-0139014, 10-2020-0123546) - 시스템 내 온습도 수직적 편차를 해결하기 위한 전문가 자문 및 유동장 해석 → 시스템 설계 일부 반영 |
| ④ 생산관리 프로그램개발 및 현장 실증 | <ul style="list-style-type: none"> - 식물공장형육묘시스템의 운영 매뉴얼 개발 (책자발간) 발간등록번호 11-1390804-000820-01 - 시스템의 개요, 프로그램 사용 방법, 이상작동 대처요령에 관한 현장실증 결과 토대로 작성 |

3. 연구목표 대비 성과

(단위 : 건수, 백만원, 명)

| 성과 목표 | 사업화지표 | | | | | | | | | | 연구기반지표 | | | | | | | | | |
|------------|-----------|----------|----------|-----------------------|------------------|---------|-------------|-------------|-------------|------------------|----------|------------------|-------------|------------------|----------|----------|------------------|------------------|----------------|------------------|
| | 지식 재산권 | | | | 기술 실시 (이전) | | 사업화 | | | | 기술 인증 | 학술성과 | | | 교육 지도 | 인력 양성 | 정책 활용·홍보 | | 기타 (타연구활용등) | |
| | 특허 출원 | 특허 등록 | 품종 등록 | S M A R T | 건 수 | 기술 료 | 제 품 화 | 매 출 액 | 수 출 액 | 고 용 창 출 | | 투 자 유 치 | 논 문 | | | | 학 술 발 표 | 정 책 활 용 | | 홍 보 전 시 |
| | | | | | | | | | | | | | S C I | 비 S C I | | | | | | |
| 단위 | 건 | 건 | 건 | 건 | 건 | 백만원 | 건 | 백만원 | 백만원 | 명 | 백만원 | 건 | 건 | 건 | 명 | 건 | 건 | | | |
| 가중치 | 30 | | | | | | | | | | | | | | | 30 | 40 | | | |
| 최종 목표 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | 1 | 2 | | | |
| 당해 년도 | 목표 | 1 | | | | | | | | | | | | | | 1 | 2 | | | |
| | 실적 | 2 | | | | | | | | | | 1 | 3 | | | 1 | 1 | | | |
| 달성률 (%) | 200 | | | | | | | | | | | - | - | | | 100 | - | | | |

4. 핵심기술

| 구분 | 핵심기술명 |
|----|---------------------------------------|
| ① | 육묘 모듈의 광의 수평적 균일도 개선을 위한 광추적 시뮬레이션 기법 |
| ② | 식물공장형육묘시스템의 운영 및 생산관리 매뉴얼 |
| ③ | 식물공장형육묘시스템의 프로그램 개발 및 운영 |

5. 연구결과별 기술적 수준

| 구분 | 핵심기술 수준 | | | | | 기술의 활용유형(복수표기 가능) | | | | |
|-------|----------|----------|------------|---------------|---------------|-------------------|----------------|------------|----------|----|
| | 세계 최초 | 국내 최초 | 외국기술 복제 | 외국기술 소화·흡수 | 외국기술 개선·개량 | 특허 출원 | 산업체이전 (상품화) | 현장애로 해결 | 정책 자료 | 기타 |
| ①의 기술 | | v | | | | | | v | | |
| ②의 기술 | v | | | | | | | v | v | |
| ③의 기술 | | | | | v | | | v | | |

* 각 해당란에 v 표시

6. 각 연구결과별 구체적 활용계획

| 핵심기술명 | 핵심기술별 연구결과활용계획 및 기대효과 |
|-------|--------------------------------------------------|
| ①의 기술 | 조명설계시 LEDs 배열 및 출력값 조정 등에 대한 규격 설정 → 광이용효율 10%증대 |
| ②의 기술 | 전국 공정육묘장의 식물공장형육묘시스템 보급 → 정책 시범사업으로 추진 가능 |
| ③의 기술 | 식물공장형육묘시스템 운영을 위한 전용프로그램 → 범용 환경제어 프로그램 대체 가능 |

7. 연구종료 후 성과창출 계획

(단위 : 건수, 백만원, 명)

| 성과 목표 | 사업화지표 | | | | | | | | | | 연구기반지표 | | | | | | | | |
|-----------------------------|--------------|--------------|--------------|-----------------------|------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------------|-------------|------------------|----------|----------------------------|----------|----------|------------------|------------------|----------------|
| | 지식 재산권 | | | | 기술 실시 (이전) | | 사업화 | | | | 기술 인증 | 학술성과 | | | 교육 지도 | 인력 양성 | 정책 활용· 홍보 | | 기타 (타연구활용등) |
| | 특 허 출원 | 특 허 등록 | 품 종 등록 | S M A R T | 건 수 | 기술 료 | 제 품 화 | 매 출 액 | 수 출 액 | 고 용 창 출 | | 투 자 유 치 | 논문 | | | | 학 술 발 표 | 정 책 활 용 | |
| | | | | | | | | | | | SCI | | 비 SCI | 논 문 평 관 I F | | | | | |
| 단위 | 건 | 건 | 건 | 건 | 건 | 백 만 원 | 건 | 백 만 원 | 백 만 원 | 명 | 백 만 원 | 건 | 건 | 건 | 명 | 건 | 건 | | |
| 가중치 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 최종목표 | | | | | | | | | | | | 1 | | | 1 | | | | |
| 연구기간 내 달성 실적 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 연구종료 후 성과 창출 계획 | | | | | | | | | | | | 1 | | | 1 | | | | |

8. 연구결과의 기술이전조건(산업체이전 및 상품화연구결과에 한함)_해당사항없음

| | | | |
|--------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|----|
| 핵심기술명 ¹⁾ | | | |
| 이전형태 | <input type="checkbox"/> 무상 <input type="checkbox"/> 유상 | 기술료 예정액 | 천원 |
| 이전방식 ²⁾ | <input type="checkbox"/> 소유권이전 <input type="checkbox"/> 전용실시권 <input type="checkbox"/> 통상실시권 <input type="checkbox"/> 협의결정 <input type="checkbox"/> 기타() | | |
| 이전소요기간 | | 실용화예상시기 ³⁾ | |
| 기술이전시 선행조건 ⁴⁾ | | | |

- 1) 핵심기술이 2개 이상일 경우에는 각 핵심기술별로 위의 표를 별도로 작성
- 2) 전용실시 : 특허권자가 그 발명에 대해 기간·장소 및 내용을 제한하여 다른 1인에게 독점적으로 허락한 권리
통상실시 : 특허권자가 그 발명에 대해 기간·장소 및 내용을 제한하여 제3자에게 중복적으로 허락한 권리
- 3) 실용화예상시기 : 상품화인 경우 상품의 최초 출시 시기, 공정개선인 경우 공정개선 완료시기 등
- 4) 기술 이전 시 선행요건 : 기술실시계약을 체결하기 위한 제반 사전협의사항(기술지도, 설비 및 장비 등 기술이전 전에 실시기업에서 갖추어야 할 조건을 기재)

주 의

1. 이 보고서는 농림축산식품부에서 시행한 1세대 스마트 플랜트팜 산업화기술개발사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 농림축산식품부에서 시행한 1세대 플랜트팜 산업화기술 개발사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.