

**【계속과제】**

영역	1	어젠다	5	대과제	1	
과제 및 세부과제명		과제구분	연구분야	수행기간	과제책임자 및 세부과제 책임자	
식물공장 상용화 및 연중 생산기술 개발		기관고유	식물공장	'17~'22	원예연구과	정운경
1) 식물공장 생산 과채류 육묘 활용기술 개발		기관고유	〃	'19~'21	원예연구과	정운경
2) 식물공장용 육묘 매뉴얼 개발		기관고유	〃	'20	원예연구과	정운경
3) 중동지역 적합 내서성 토마토 선발		기관고유	〃	'19~'20	원예연구과	정운경
4) 식물공장 이용 고추냉이 생산 기술 개발		기관고유	〃	'20~'22	원예연구과	정현경
5) 식물공장 엽채류 수분 스트레스 측정기술 개발		기관고유	〃	'20~'21	원예연구과	정현경
6) 오이 영양결핍 이미지활용 기술 개발		기관고유	〃	'19~'20	원예연구과	정현경
색인용어	식물공장, 육묘, 고추냉이, 토마토, 덩러닝					

**1. 연구개발의 필요성**

가. 연구개발대상 기술의 경제적·산업적 중요성 및 연구개발의 필요성

- 1) 기후변화에 대응하여 안정적 식물공급, 식품안전성에 대한 관심 증가, 농업인력의 감소 및 고령화 인력의 활용 등의 목적으로 식물공장에 대한 연구 및 실용화 필요성 증가
- 2) 식물공장은 농업기술과 IT, BT, ET 등의 산업분야와 융합함으로써 계절이나 장소에 구애 받지 않고 계획생산이 가능하며 소비자의 다양한 요구에 맞춘 기능성 작물 생산이 가능함
- 3) 우리나라 환경에 적합한 한국형 식물공장 개발 및 세계로의 수출시장을 창출하고자 함
- 4) 국내 운영 중인 식물공장은 28여개소이며 식물공장 운영 기업의 49.2%가 현장의 애로 기술을 해결할 연구인력 및 연구개발 환경의 부재가 식물공장 운영의 장애 요인이라고 답변함(식물공장 산업생태계 조사분석, 2015)

나. 연구개발대상 기술의 국내·외 현황

1) 국내 연구 현황

- 가) 1990년대 이후 농촌진흥청에서 식물공장 연구를 시작하였으며 남극 세종기지에 식물공장을 설치하여 가동중이며, 전주로 청사이전 후에는 식물공장 연구보다는 스마트팜 연구를 중점적으로 착수중이며 각도 농업기술원에서도 수행중이거나 시작중임

- 나) 국내 기업으로는 팜에이트, 베지텍스, 인성테크(주), 알가팜텍, 카스트환경기술(주) 등 민간회사에서 식물공장을 설립, 운영하고 있음
  - 다) 식물공장에 관련된 특허출원은 2008년까지 출원건수가 매년 5건 미만이었으나 2016년에는 76건으로 증가하고 있으며 그중 LED 조명, 형광등, 태양광 등의 광원관련이 38%, 자동제어 관련 기술이 37%로 많은 비중을 차지하고 있음
  - 라) 식물공장에서 생산되는 농산물의 수요는 향후 5년간 46.5% 증가할 것으로 분석되나 재배 작물은 엽채류에만 국한되어 있는 실정임. 식물공장 재배 작물의 다양화와 경제성 향상 방안으로 식물공장을 활용한 특용 작물 재배 기술 연구가 필요함
    - 한국의 식물공장 시장 규모 (KISTI market report 3.3)
      - 금액(억원) : '14) 150 → '17) 1,058 → '20) 1,968
      - 면적(ha) : '14) 1.7 → '17) 13.1 → '20) 26.3
  - 마) 야라코리아는 작물 영양결핍 진단 정보를 제공하는 어플리케이션 Yara Check IT 한국어 버전 출시
  - 바) 경기도농업기술원에서는 백다다기 오이에 대하여 질소, 마그네슘, 철분 결핍을 유도한 후 오이 잎 이미지를 수집하고 RGB 값을 추출하는 연구를 수행함(2019). 일정 조도에서 측정된 오이 잎 이미지의 RGB값은 질소 결핍수준에 따라 퇴색이 진행되어 황색도 값이 증가하였고 질소농도 감소에 따른 경향성을 확인함( $r=-0.69$ )
    - 질소, 마그네슘, 철분 결핍 이미지에 대해서 RGB 분포 프로파일의 차이가 보여 결핍 이미지 분류기준으로 활용할 수 있을 것으로 판단됨
- 2) 국외 연구 현황
- 가) 식물공장 연구는 1950년대 유럽에서 시작되어 덴마크에서 최초의 식물공장이 생겨났으며 이후 유럽, 미국, 일본 등에서 식물공장에 대한 연구가 활발하게 이루어졌음
  - 나) 네덜란드는 2020년까지 자급 에너지 뉴트럴 온실시스템을 구축을 목표로 바이오 발전, 지열 발전 온실 프로젝트 진행하고 있음
  - 다) 벨기에는 묘 자동이식로봇, 자동재식거리, 중앙수확을 제어할 수 있는 시스템을 개발하여 운영하고 있음
  - 라) 미국은 1970년대에 식물공장 연구를 시작하여 1980년대 어그리시스템사, 어그로노틱스에서 대형 태양광 병용형의 식물공장 생산시스템을 실용화하고 있으며 NASA 등에서 우주농업 연구를 수행하고 있음
  - 마) 일본은 1970년대부터 연구를 시작하여 2009년 정부가 '신경제 성장전략'의 하나로 식물공장을 지원하고 있으며 현재 '미라이' 등 50여개의 식물공장이 운영되고 있고, 치바대학에서는 약용식물인 감초 재배 시스템을 개발하였음
  - 바) 일본은 주로 인공광형 식물공장에서 엽채류를 생산하며 유럽은 태양광 병용형 식물공장을 개발, 설립하여 엽채류, 과채류, 화훼류 등을 재배하고 있음

사) 중국 푸젠성 SANANBIO

SANAN은 세계 1위의 LED칩 제조 업체로서 중국과학원 식물학연구소와 협업하여 5,000㎡ 규모의 식물공장 운영

아) 일본 교토 소재의 스프레드

2007년 처음 엽채류 생산 이래 2013년 흑자 전환. 완전 자동화 공정의 엽채류 생산 시스템인 ‘베지터블팩토리’를 개발하여 2016년 에디슨상 수상

자) 영상 이미지 기반 토마토 품질 분석 기술(Computers and Electronics in Agriculture 2001;31-17)

- 토마토의 색도지수(RGB)에 근거한 과실의 숙성 정도 파악 및 보관 기간 예측할 수 있는 이미지 분석 기술

다. 국내외 연구현황 비교 및 필요 연구 분야

연구현황 비교		필요연구 분야·내용
국 내	국 외	
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 스마트팜 토마토 육묘기술 개발(농촌진흥청)</li> <li>○ 식물공장용 과채류 육묘 시스템 및 포트 개발 (경기도원)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 엽채류 스마트팜, 식물공장 생산 활발(일본,미국,유럽)</li> <li>○ 컨네이너형 식물공장 딸기 생산 및 판매중(프랑스)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 고온기 과채류 육묘기술개발 - 광원, 순화, 육묘판 등</li> <li>○ 식물공장 생산묘의 실증연구</li> <li>○ 고온기생산가능 시설연구 등</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 저칼륨, 철분강화 채소 재배 기술 개발 및 상용화 (경기도원)</li> <li>○ 기능성 함유량 증가 작목의 연중 생산화(경기도원)</li> <li>○ 연구용 의약품 추출식물 재배 착수(농진청,KIST)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 저칼륨 채소류 재배 및 시판(일본, 싱가포르)</li> <li>○ 감초 등 한방재료용 약초류의 식물 공장화(일본)</li> <li>○ 대마 등의 의약품 시판에 따른 재배 규제가 약함 (미국, 필리핀 등)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 헬스케어용 적합 작목 선발 및 재배기술 개발 보급</li> <li>○ 식물공장 활용 저온성 고추 냉이 연중재배기술 확립 (발아조건, 적합배지, 온도조절, 채종 등)</li> <li>○ 초밀식 등의 식물공장내 미세 환경 제어오류에 따른 수확량 감소원인 사전진단 기술 필요</li> </ul>

## 2. 연구개발 목표 및 내용

### 가. 정성적 성과 목표

연차	목 표
1년차 (2017년)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 당뇨병 신증 개선용 채소 내 칼륨 함유량 저감기술 개발</li> <li>○ 식물공장 재배용 고부가가치 식물 재배특성 평가</li> </ul>
2년차 (2018년)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 빈혈예방용 채소 내 철분 함유량 증대기술 개발</li> <li>○ 저칼륨함량 채소 재배기술 실증 및 실용화</li> <li>○ 식물공장 적합 고부가가치 식물 최적광조건 및 기능성 성분분석 등</li> </ul>
3년차 (2019년)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 철분강화 채소의 현장 적용화</li> <li>○ 고부가가치 적합 식물의 생산재배 기술 개발</li> <li>○ 식물공장 생산 과채류 육묘 광원 선발</li> </ul>
4년차 (2020년)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 식물공장 생산 과채류 육묘의 고온기 적합 품종 선발</li> <li>○ 식물공장 생산 과채류 육묘 매뉴얼 제작</li> <li>○ 오이 영양결핍 진단기술 개발</li> </ul>
5년차 (2021년)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 식물공장 육묘생산 모델링 개발</li> <li>○ 쌈채소용 고추냉이 식물공장 재배기술 개발</li> </ul>
6년차 (2022년)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 과채류 생산 모델링 적용 및 실증</li> <li>○ 근경용 고추냉이 식물공장 재배기술 개발</li> </ul>
최종	식물공장 상용화 및 연중생산기술 개발

### 나. 정량적 성과 목표

성과지표명	연도	1년차 (2019년)		2년차 (2020년)		3년차 (2021년)		계	
		목표	실적	목표	실적	목표	실적	목표	실적
논문게재	SCI								
	비SCI	1	1			1		1	1
학술발표	국제	1	1			1		2	1
	국내	1	1	1		1		3	1
산업재산권 출원		1	1			1		2	1
산업재산권 등록				1				1	
산업체 기술이전				1				1	
영농활용기관제출		1	1	1		2		4	1
홍보		2	2	2		1		5	2
계		7	7	6		7		6	

다. 종합연구내용

세 부 과 제	주 요 연 구 내 용	연 구 목 표	수행기간
1) 식물공장 생산 과채류 육묘 활용 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 적합 육묘 광원 선발</li> <li>○ 정식전 생산묘의 순화방법</li> <li>○ 적합 육묘판 소재 등</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 과채류 육묘 적합 생산 및 순화기술 개발</li> </ul>	'19~'21
2) 식물공장용 육묘 매뉴얼 개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 우리원 육묘시스템 적합 생산 조건 수록</li> <li>○ 과채류 육묘, 재배기술 등</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 중동국가 겨냥 육묘 시스템 정착 및 보급</li> </ul>	'20
3) 중동지역 적합 내서성 토마토 선발	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 고온기 적합 토마토 선발</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 고온기 적합 국내산, 유럽종 토마토 선발 및 적용</li> </ul>	'19~'20
4) 식물공장 이용 고추냉이 생산 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 씹채소용 고추냉이 최적재배 기술 개발을 위한 적합 광원, 배지, 양액농도 선발 시험</li> <li>○ 식물공장 이용 고추냉이 근경 재배법 개발</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 식물공장 활용 씹채소용 및 고추냉이 근경 재배법 확립</li> </ul>	'20~'22
5) 식물공장 엽채류 수분스트레스 측정 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 식물공장 미세환경 이상에 따른 수분스트레스 측정 기술 개발</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 식물공장용 엽채류의 안정생산을 위한 이상 환경 조기 진단 기술 확립</li> </ul>	'20~'21
6) 오이 영양결핍 이미지 활용 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 오이 주요영양성분 결핍유도 : K, N, B</li> <li>○ 과채류의 영양결핍 수준별 이미지수집 및 영양결핍증상 분류를 위한 알고리즘프로토타입 작성</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 오이의 영양결핍 진단을 위한 비파괴 알고리즘 개발</li> </ul>	'19~'20

라. 당해년도 세부연구내용

세 부 과 제	연차	연 구 내 용
1) 식물공장 생산 과채류 육묘 활용 기술 개발	2/3	<p>&lt;시험1&gt; 토마토 육묘용 적합 광원 선발(완료)</p> <p>&lt;시험2&gt; 토마토 육묘용 적합 광량 선발</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 시험작물 : 토마토, 파프리카 등</li> <li>- 처리내용                             <ul style="list-style-type: none"> <li>· 광 량 : LED 250<math>\mu</math>mol · m<sup>-2</sup> · sec<sup>-1</sup> 등 3수준</li> <li>· 광 원 : red:blue(5:5)</li> </ul> </li> <li>- 조사내용 : 초장, 엽수, 마디수 등 묘소질</li> </ul> <p>&lt;시험3&gt; 토마토 육묘 정식전 경화조건 구명</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 시험작물 : 토마토</li> <li>- 처리내용                             <ul style="list-style-type: none"> <li>· 온도조건 : 30℃, 35℃</li> <li>· 시간조건 : 온도별 6h, 12h</li> </ul> </li> <li>- 조사내용 : 묘소질, 생육특성, 수량성 등</li> </ul>
2) 식물공장용 육묘 매뉴얼 개발	1/1	<p>가. 대상작물 : 과채류</p> <p>나. 수록내용</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 국내외 식물공장 운영현황</li> <li>- 우리원 육묘시스템 보유기술</li> <li>- 육묘시스템 운영 요령 및 시스템 제어프로그램</li> <li>- 토마토 등 우리원 재배 연구성과 등</li> </ul>
3) 중동지역 적합 내서성 토마토 선발	2/2	<p>&lt;시험1&gt; 국내산 토마토 품종 선발(완료)</p> <p>&lt;시험2&gt; 유럽형 토마토 품종 선발</p> <p>가. 시험품종 : ‘Montserrat’ 등 3종</p> <p>나. 양액종류 : 아마자키 토마토 양액</p> <p>다. 정식시기 : 8월 상순</p> <p>※ 근권부 수냉베드 시스템 적용</p> <p>라. 조사내용 : 고온기 활착율, 생육특성, 수량성 등</p>
4) 식물공장 이용 고추냉이 생산 기술 개발	1/3	<p>&lt;시험1&gt; 쌈채소용 적합 광원 및 배지구명</p> <p>가. 시험작물 : 고추냉이 ‘달마’</p> <p>나. 양액종류 : 아마자키 엽채류 양액</p> <p>다. 처리내용</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 광 원 : red:blue(3:1), 형광등</li> <li>- 배 지 : 난석, 하이드로볼, 마사토 대립, 펄라이트</li> </ul> <p>라. 조사내용 : 초장, 엽수 등 생육특성 등</p>

세 부 과 제	연차	연 구 내 용
		<p>&lt;시험2&gt; <b>쌈채소용 최적 양액농도 조건 선발</b></p> <p>가. 시험작물 : 고추냉이 ‘달마’</p> <p>나. 처리내용 : 아마자키 엽채류 양액 - 급액농도 : 0.4, 1.2, 2.0, 2.5ds·m-1</p> <p>다. 조사내용 : 출엽속도, 생육특성 등</p>
5) 식물공장 엽채류 수분 스트레스 측정 기술 개발	1/2	<p>가. 시험작물 : 상추 등 엽채류</p> <p>나. 처리내용 - 처리조건 : 양액공급 중단 6, 8, 10h 등 - 촬영기구 : 적외선센서, 열화상카메라, RGB카메라</p> <p>다. 조사내용 : 촬영조건 및 위치, 엽온, 생육이미지 등</p>
6) 오이 영양결핍 이미지 활용 기술 개발	2/2	<p>가. 시험작물 : 오이 (백다다기)</p> <p>나. 양액종류 : 네덜란드 소너벨드 양액 / 펠라이트 재배</p> <p>다. 처리내용 - 결핍 유도 영양분 : K, NO<sub>3</sub>-N, B · 정상농도 K 8.75mM, NO<sub>3</sub>-N 16mM, B 25uM 대비 결핍 수준 3수준</p> <p>라. 조사내용 - 이미지수집, 이미지 분류 알고리즘 프로토타입 작성 (이미지로드, 크기정규화 및 앞 RGB 색정보 변환 등)</p>

### 3. 당초 연구계획과 변경된 사항

당 초	변 경	사 유
<p>○ 농업빅데이터 기반의 스마트팜 활용기술개발 (과제명)</p> <p>- 딥러닝기법을 이용한 과채류 생육 이미지 수집 및 분석</p>	<p>○ 식물공장 상용화 및 연중 생산기술 개발(과제명)</p> <p>- 오이 영양결핍 이미지 활용 기술 개발</p>	<p>빅데이터 수집 및 분석 과제보다는 식물공장과 스마트팜 시설에서의 생육 판단에 활용될 기술로 과제명과 세부과제명을 변경하여 추진하고자 함</p>

#### 4. 연구개발결과의 활용방안 및 기대성과

##### 가. 연구개발결과의 활용방안

###### 1) 학술발표 및 논문게재

- 가) 식물공장 저칼륨 케일, 잎브로콜리 생산을 위한 양액조성 및 처리방법(2018)
- 나) 식물공장 철분처리 추가가 상추, 겨자의 철분함량에 미치는 영향(2019)
- 다) 버섯재배사 방출공기 활용 사계성 딸기 재배효과(2019)
- 라) 버섯재배사 방출공기 활용 일계성 딸기 재배효과(2019)
- 마) 식물공장 활용 기능성물질 향상 광원처리 효과(2020)
- 바) 식물공장 적용 육묘적합 인공광 개발(2021)
- 사) 식물공장 적합 쌈채소용 고추냉이 재배 기술 개발(2022)
- 아) 식물공장 적합 근경용 고추냉이 재배 기술 개발(2023)

###### 2) 영농활용

- 가) 식물공장 저칼륨 케일, 잎브로콜리 생산을 위한 양액조성 및 처리방법(2017)
- 나) 빈혈예방용 식물공장 철분강화용 상추, 겨자 재배방법(2018)
- 다) 식물공장 시스템 이용 고부가가치 작물 재배 기술(2019)
- 라) 식물공장용 육묘 생산 매뉴얼(2020)
- 마) 과채류 육묘 적합 인공광 개발(2020)
- 바) 식물공장 이용 쌈채소용 고추냉이 적합 재배 기술 개발(2021)
- 사) 식물공장 이용 고추냉이 근경 재배 기술 개발(2022)

###### 3) 특허출원

- 가) 식물공장 딸기 육묘시스템(2019)
- 나) 식물공장 재배 엽채류 수분스트레스 측정 기술 개발(2021)

##### 나. 기대성과

###### 1) 기술적 측면

- 가) 당뇨병 신증 및 신장질환, 빈혈예방을 위한 건강 맞춤형 채소 생산 기술 개발 및 상용화로 국민건강 증진
- 나) 기능성 물질 함유 작목의 식물공장을 통한 연중생산 기술 개발 및 실용화

###### (2) 경제적·산업적 측면

- 가) 기후와 상관없이 식물공장 적합 작목 선발과 고객 맞춤형 채소류 생산 기술 개발 및 보급 확대로 연중생산 공급체계 마련
- 나) 국내 식물공장 원천기술 확보 및 중동사막국가의 식량안보용 기술 수출 등

### 5. 연구원 편성

세 부 과 제	구 분	소 속	직 급	성 명	참여기간	참여비율 (%)
1) 식물공장 생산 과채류 육묘 활용기술 개발	책 임 자	원예연구과	지방농업연구관	정윤경	'19~'22	40
	공동연구자	"	지방농업연구사	전명희	'19~'22	15
	"	"	"	정현경	'19~'22	25
	"	"	"	이영석	'19~'22	10
	"	"	지방농업연구관	조창휘	'19~'20	10
2) 식물공장용 육묘 매뉴얼 개발	책 임 자	원예연구과	지방농업연구관	정윤경	'20	40
	공동연구자	"	지방농업연구사	전명희	'20	15
	"	"	"	정현경	'20	25
	"	"	"	이영석	'20	10
	"	"	지방농업연구관	조창휘	'20	10
3) 중동지역 적합 내서성 토마토 선발	책 임 자	원예연구과	지방농업연구관	정윤경	'19~'20	40
	공동연구자	"	지방농업연구사	전명희	'19~'20	15
	"	"	"	정현경	'19~'20	25
	"	"	"	이영석	'19~'20	10
	"	"	지방농업연구관	조창휘	'19~'20	10
4) 식물공장 이용 고추냉이 생산 기술 개발	책 임 자	원예연구과	지방농업연구사	정현경	'20~'22	40
	공동연구자	"	지방농업연구관	정윤경	'20~'22	30
	"	"	지방농업연구사	전명희	'20~'22	10
	"	"	"	이영석	'20~'22	10
	"	"	지방농업연구관	조창휘	'20~'22	10
5) 식물공장 엽채류 수분스트레스 측정 기술 개발	책 임 자	원예연구과	지방농업연구사	정현경	'20~'21	40
	공동연구자	"	지방농업연구관	정윤경	'20~'21	20
	"	"	지방농업연구사	전명희	'20~'21	15
	"	"	"	이영석	'20~'21	15
	"	"	지방농업연구관	조창휘	'20~'21	10
6) 오이 영양결핍 이미지 활용 기술 개발	책 임 자	원예연구과	지방농업연구사	정현경	'19~'20	40
	공동연구자	"	지방농업연구관	정윤경	'19~'20	20
	"	"	지방농업연구사	전명희	'19~'20	15
	"	"	"	이영석	'19~'20	15
	"	"	지방농업연구관	조창휘	'19~'20	10

## 6. 연구개발비 소요명세서

(단위 : 백만원)

과제 및 세부과제명	1차년도 (2019)	2차년도 (2020)	3차년도 (2021)	합계
○ 식물공장 상용화 및 연중생산 기술 개발	341	341	341	1,023
1) 식물공장 생산 과채류 육묘 활용 기술 개발	70	60	140	270
2) 식물공장용 육묘 매뉴얼 개발	-	10	-	10
3) 중동지역 적합 내서성 토마토 선발	120	70	-	190
4) 식물공장 이용 고추냉이 생산 기술 개발	-	55	101	156
5) 식물공장 엽채류 수분스트레스 측정 기술 개발	-	76	100	176
6) 오이 영양결핍 이미지 활용 기술 개발	151	70	-	221