

발간등록번호

11-1543000-003647-01

# 도심형 스마트팜 확산 및 운영 모델 수립 연구

2021. 8.

연구기관 : 경북대학교 산학협력단



농림축산식품부

도심형 스마트팜 확산 및 운영 모델 수립 연구

2021

농림축산식품부

# 제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

본 보고서를 “도심형 스마트팜 확산 및 운영 모델 수립 연구” 과제의 최종 보고서로 제출합니다.

2021년 08월

주관연구책임자 : 김성겸 ①

주관연구기관장 : 경북대학교 산학협력단 직인

# 참여연구원

연구총괄 책임연구원 경북대학교 김성겸

참여연구원 경북대학교 임기병

참여연구원 경북대학교 정태욱

참여연구원 경북대학교 김창길

연구보조원 경북대학교 안수란

연구보조원 경북대학교 조원준

연구보조원 경북대학교 문유현

# 요 약 문

## I. 제목

도심형 스마트팜 확산 및 운영 모델 수립

## II. 연구의 필요성 및 목적

기후 위기로 인한 농업 생산 기반의 취약성이 증가하고, 농가소득의 정체, 곡물 자급률 하락, 농촌 인구의 감소와 고령화, 농산물 수급 불안 등 시급히 해결해야 할 이슈들이 많다. 최근, 도시와 농촌 간 불균형한 성장으로 농촌 소멸 위기가 한국 사회의 지속 가능성까지 위협한다는 위기의식이 대두되고 있으며, 정부는 이러한 문제를 해결하고 우리나라 농업을 한 단계 성장시키기 위해서 정책적 노력을 하고 있다.

미래 우리 농업의 방향은 생산성 및 탄력성 증대, 기후 변화 대응, 지속 가능 농법으로 전환, 농업에서 신 가치 창출로 범위를 확대해야 한다. 우리나라 농산업 경쟁력을 세계 농산업 강국들보다 우위에 있게 할 방안이 필요하다. 이를 위해 정보 통신 기술을 접목한 스마트팜이 좋은 대안이 될 수 있으며, 더 나아가 네덜란드, 미국, 이스라엘, 일본 등으로부터 스마트팜 장치의 수입 및 기술 격차를 줄이는 노력이 필요하다. 그리고 세계화와 농산물 생산 단계의 복잡성으로 인해 안전하지 않은 먹거리에 대한 불안감이 확산되고 있다. 안전하게 재배된 지역농산물 수요의 증가와 고품질 유기농 작물에 대한 가치가 증가하는 추세인 현재 상황을 잘 반영하여야 한다. 또한, 도시농업에 관한 관심이 증대되고 있는 시기에 도시민과 농업인이 함께하는 상생 방안으로 도심형 스마트팜이 새로운 생산 시스템으로 주목 받고 있다.

이에 본 연구에서는 첨단 농업기술·농자재·시스템을 활용한 도심형 스마트팜 모델을 수립하고, 새로운 농업·생산 유통체계 시스템으로 도심형 스마트팜 운영 모델을 제시하고자 한다.

- 도심형 스마트팜을 정의하고 도심형 스마트팜 생산 시스템에 대한 국내·외 활용사례를 검토
- 자료조사·분석을 통해 도심형 스마트팜에 직접 적용할 수 있는 생산 시스템 모델 제안
- 농산물 생산시간-소비공간 접합 연계 첨단빌딩 농업 시스템 구축 제안
- 도시 내 농업, 창업, 연구, 소비, 문화, 공간 제공 및 신 소득 모델 개발
- 도심형 스마트팜 구성을 체계적으로 분석하고 첨단농업, 국민의 삶의 질, 지속 가능 농업, 비즈니스 생산모델, 창업, 교육 등 목표별 개념 및 도심형 스마트팜 운영 모델을 제시
- 도심형 스마트팜 확산을 위한 전략으로 정책 현황을 분석하고, 경제적 운영 전략을 제시하며 나아가 도심형 스마트팜 클러스터 구축을 제안

### Ⅲ. 기대효과

사업 추진에 따라, 도시 내 수직형 농장 또는 인공광을 이용한 식물공장에 대한 기계적인 작물 재배에 따른 일부 부정적인 시각의 이미지를 없애고 생산자와 소비자의 거리를 최소화하고, 소비자가 직접 확인하는 친환경·무공해·신선한 안심 농산물을 생산하는 긍정적인 시각의 이미지로 개선이 기대된다.

도심형 스마트팜이 모델이 수립되고 확산된다면, 농림축산식품부 등에서 주관하는 청년 창업, 일자리 창출 및 영농창업과 관련된 각 대학의 인력양성사업과 연계 또는 새로운 사업이 발굴될 수 있다. 그리고 도심형 스마트팜은 첨단사업으로 미래의 일자리로서 청년들에게 매력적인 분야가 될 수 있어서 청년 일자리 창출 사업과 적극 연계가 가능할 것으로 판단된다.

사업 추진에 따라, 국가 R&D 시스템의 적용으로 도심형 스마트팜과 관련된 개별 요소 기술의 체계적인 개발은 신농산업 분야 및 수출 주력 품목으로 성장이 가능할 것으로 예상되며, 국가 R&D 및 과학기술 역량 제고의 발전도 기대된다. 도심형 스마트팜 클러스터 구축·운영으로 인한 도시 내 청년 일자리 창출, 비용 대비 편익 비율 증가로 인한 긍정적 경제효과 발생이 예상된다. 그리고 도심 내 스마트팜이 경제성을 확보하고 잘 운영된다면, 도시민 방문객 유입으로 인한 관광 및 스마트 농업 확산의 기폭제 역할도 가능할 것으로 기대된다. 또한, 도심형 스마트팜 재배 기술 및 장치 개발과 관련된 인력 양성 과정을 통하여 배출된 전문 인력은 농산업체에서 요구하는 제반 기술을 이해하고 해결할 수 있는 이론과 현장 적용 실무능력을 겸비하고 있으므로 산업 경쟁력을 강화하는데 기여할 것으로 기대된다.

# 목 차

제1장 서론 .....	1
1.1. 연구의 필요성 .....	1
1.2. 연구의 목적 및 범위 .....	5
제2장 도심형 스마트팜 국내·외 산업 및 R&D 동향 .....	7
2.1. 도심형 스마트팜 국내·외 산업 동향 .....	7
2.2. 도심형 스마트팜 국내·외 R&D 동향 .....	22
제3장 도심형 스마트팜 확산 및 운영 모델 개발 .....	37
3.1. 도심형 스마트팜 정의 및 국내·외 활용사례 .....	37
3.2. 모델에 적용할 기술개발 계획 및 유사 사업과 차별화 .....	59
3.3. 도심형 스마트팜 확산 및 운영 모델 .....	67
제4장 도심형 스마트팜 확산 전략 .....	77
4.1. 도심형 스마트팜 경제적 운영 전략 .....	77
4.2. 도심형 스마트팜 클러스터 구축(안) .....	94
4.3. 기대효과 .....	99
제5장 결론 .....	101
참고문헌 .....	104

## [표 차례]

- 표 1. 경제 부문별 에너지소비량 및 CO<sub>2</sub> 배출량
- 표 2. 농업 부문 에너지원별 소비량 및 CO<sub>2</sub> 배출량
- 표 3. 농업 에너지 소비에 따른 작물별 CO<sub>2</sub> 배출량
- 표 4. 대형유통업체에 샐러드 납품하는 11업체 조사
- 표 5. 도심형 스마트팜 48업체 조사
- 표 6. 국내 지역별 식물공장 분포
- 표 7. 국내 식물공장 관련 표준화 현황
- 표 8. 국내외 식물공장 특징 비교
- 표 9. 실용화된 도심형 스마트팜 관련 기술 구분
- 표 10. 전통, 시설, 도심형 스마트 농업의 구분
- 표 11. 도심형 스마트팜 관련 명칭의 구성 요소별 구분
- 표 12. 도심형 스마트팜 관련 국내 특허등록 추이
- 표 13. 도심형 스마트팜 관련 국내 RDA 특허등록 목록
- 표 14. 도심형 스마트팜 관련 키워드별 국외 특허등록 추이
- 표 15. 도심형 스마트팜 키워드별 출판 논문 추이
- 표 16. 도심형 스마트팜 용어의 적용
- 표 17. 향후 PFAL 재배 식물 사용 범위
- 표 18. (주)스마트팜센터 도심형 스마트팜 종류
- 표 19. 도심 농업 입점 수주 현황
- 표 20. 매체별 주요 도심형 스마트팜 산업체군 조사
- 표 21. JPFA 식물공장 지도 내의 시설 종류
- 표 22. 도심형 스마트팜 센터 구축에 따른 SO/ST/WO/WT 전략 수립
- 표 23. 도심형 스마트팜 기술개발 로드맵
- 표 24. 도심형 스마트팜의 전략 방안
- 표 25. PDM(Project Design Matrix) 활용구조
- 표 26. 도심형 스마트팜 클러스터 유사 사업 차별화 구분
- 표 27. 수직형 식물공장(PFALs) 설치 장비 및 환경 센서

- 표 28. 파장 별 식물 반응의 특징
- 표 29. 국내외 식물공장용 LEDs 광원 판매 업체
- 표 30. 일본의 식물공장 비즈니스 포럼 및 워크숍 연도별 참여 인원
- 표 31. 요소별 연간 전기 소비율
- 표 32. 베지텍스 일반 현황
- 표 33. 베지텍스 시설 설치 금액
- 표 34. 이음 일반 현황
- 표 35. 그린플러스 일반 현황
- 표 36. 도심형 스마트팜 기존 사례 및 전략 수립
- 표 37. 도심형 스마트팜 적상추 재배 시 경영 분석 시뮬레이션
- 표 38. 도심형 스마트팜 청상추 재배 시 경영 분석 시뮬레이션
- 표 39. 도심형 스마트팜 미나리 재배 시 경영 분석 시뮬레이션
- 표 40. 도심형 스마트팜 양상추 재배 시 경영 분석 시뮬레이션
- 표 41. 도심형 스마트팜 조성계획(안)
- 표 42. 시설 업체류 및 특용작물 소득자료

## [그림 차례]

- 그림 1. 농업생산 시스템에 IT기술 적용의 발전
- 그림 2. 주요국별 농업 ICT 융합 분야 기술 수준 및 기술 격차
- 그림 3. 그린케이팜 ‘딸기 베드 업다운 시스템’
- 그림 4. 새봄에서 재배되는 스낵 토마토
- 그림 5. 향후 10년 도심형 스마트팜 내수시장 전망
- 그림 6. 국내 지역별 상업용 식물공장 분포
- 그림 7. 팜에이트 식물공장 사례
- 그림 8. (주)맥스포 식물공장 사례
- 그림 9. 알가팜텍 식물공장 사례
- 그림 10. 베지텍스 식물공장 사례
- 그림 11. 향후 10년 도심형 스마트팜 세계시장 전망
- 그림 12. '14년 대만의 PFAL 현황
- 그림 13. 그린센스팜 식물공장 사례
- 그림 14. 아이론옥스 식물공장 사례
- 그림 15. 프리마 식물공장 사례
- 그림 16. 그로우업어반팜 식물공장 사례
- 그림 17. 인팜 식물공장 사례
- 그림 18. (주)미라이 식물공장 사례
- 그림 19. 도쿄드림 식물공장 사례
- 그림 20. 토시마 식물공장 사례
- 그림 21. 어드벤스드 어그리 식물공장 사례
- 그림 22. 글로나칼그린테크놀로지그룹 식물공장 사례
- 그림 23. 남극 세종기지에 설치된 컨테이너형 스마트팜 전경
- 그림 24. 스마트팜 R&D 파이 (Platform for Investment & Evaluation)
- 그림 25. 베이징홍푸국제농업
- 그림 26. 내수시장 샐러드 TOP 7 CAGR 분석
- 그림 27. '18년 국내 US 관련 산업체 군 중 상위 7업체 시장점유율

- 그림 28. 일본의 LED가 있는 PFAL 비용 구성 요소 비율
- 그림 29. PFAL 에너지 변환 프로세스
- 그림 30. 채소의 품질과 경제적 가치에 영향을 미치는 요소
- 그림 31. 다양한 형태의 도심형 스마트팜
- 그림 32. (주)스마트팜센터의 도심형 스마트팜 사례
- 그림 33. 해피팜 협동조합의 도심형 스마트팜 사례
- 그림 34. 해외 선도기업 생산·판매 모델
- 그림 35. 유럽 도심형 스마트팜 활용사례
- 그림 36. 에어로팜 내부 전경
- 그림 37. 리버파크 팜 외부 전경
- 그림 38.. 세계원예센터 내 시설
- 그림 39. 일본 식물공장연구회로 이루어진 도심형 스마트팜 전경
- 그림 40. 옥상 식물 생산(RPP) 시스템과 통합된 인공 조명(PFAL)이 있는 식물 공장의 물 순환
- 그림 41. 옥상 생산 시스템 및 옥상 태양광 발전과 통합된 인공조명(PFAL)이 있는 식물 공장의 에너지 순환
- 그림 42. 도심형 스마트팜 SWOT 분석
- 그림 43. 도심형 스마트팜 클러스터 중점전략 도출
- 그림 44. PFAL 재배실 평면도 및 재배실
- 그림 45. 수직형 식물공장(PFALs) 주요 구성 요소
- 그림 46. 식물공장용 광원별 파장
- 그림 47. 3-D ray tracing 이용한 모듈 내 광 균일도 분석
- 그림 48. 광원 배치별 모듈 내 재배상 수평 분포
- 그림 49. 블로어(Blower) 시스템을 통한 모듈 내 미세기류 형성
- 그림 50. 블로어(Blower) 시스템을 통한 모듈 내 미세기류 형성 측면도
- 그림 51. 일본 지바시 환경보건과학센터에서 진행한 식물공장 단기 교육 프로그램
- 그림 52. 세계원예센터의 국제협력과 국내외 사업상담
- 그림 53. PFAL-D (design) & M (management)
- 그림 54. PFAL-D&M 소프트웨어
- 그림 55. 반사체를 이용한 PPFD 시뮬레이션

- 그림 56. PFAL 외기 및 내기 온도차에 따른 COP
- 그림 57. 실제 냉각 부하 비율에 따른 에어컨 평균 COP
- 그림 58. 시간에 따른 작동 10개 및 4개 에어컨의 평균 COP
- 그림 59. PFAL 구성요소별 전력 소비의 시각화
- 그림 60. 비용관리 레이더 차트
- 그림 61. PFAL 3차원 온도 분포
- 그림 62. 식물 생장 곡선 및 시기별 엽면적 사진
- 그림 63. 이식 시기별 식물 생장곡선
- 그림 64. 디지털 이미지 인식과 연속 무게 측정을 통한 수확 및 이식 자동화
- 그림 65. 수직농장의 생산비용 구성비(예)
- 그림 66. 도심형 스마트팜 클러스터 조감도
- 그림 67. 도심형 스마트팜 재배 작물 검토
- 그림 68. 고기능성 원료 약용식물 대량 생산 시스템
- 그림 69. 고체산화물 연료전지(SOFC) 연계 통합시스템
- 그림 70. 도심형 스마트팜 농산물유통센터(APC) 유통단계

# 제1장 서론

## 1.1. 연구의 필요성

### □ 우리나라의 농업 및 농촌 문제

- 우리나라의 곡물 자급률은 1999년 29.4%에서 2019년 21.7%로 하락하였으며, 향후 지속적으로 하락하여 2026년 13.0%에 이를 것으로 전망되며, 식량의 수입의존도도 높아질 전망이다.
- 농가 인구의 감소와 고령화가 함께 진행됨에 따라 농업노동력은 빠르게 감소 되고 있으며, 그 결과 노동력이 부족할 것으로 예상됨.
- 최근 귀농 인구가 증가하고 있으나(12,570명, '20), 기존의 농법으로는 귀농한 농가가 경쟁력을 가지고 지속 가능하게 정착하는데 한계가 있으며, 경쟁력을 갖기 위해서는 새로운 기술 또는 생산 시스템이 도입되어야 함(김연중 등, 2016, 스마트팜 운영실태 분석 및 발전 방향 연구).
- 최근 기후 변화 태풍, 집중호우, 한파와 폭설 등과 같은 자연재해의 빈도와 강도가 증가하고 있으며, 전체 기상특보 발령 횟수는 1994년 640회에서 2018년 2,314회로 지난 24년간 362% 증가하였음.
  - IPCC<sup>1)</sup> 등 많은 국제기구에서 예상하는 것과 같이 향후 기후 변화가 지속해서 진행되어 기상이 변의 빈도와 강도가 높아진다면 농업환경의 악화 및 피해가 점점 커질 것으로 예상됨.

### □ 새로운 농산업 생산 시스템의 검토

- 미래 우리 농업의 방향은 생산성 및 탄력성 증대, 기후 변화 대응, 지속 가능 농법으로 전환, 농업에서 신 가치를 창출로 범위 확대해야 함.
- 농업을 생명공학과 연계, 바이오 생물학 적용을 통한 신약 개발 및 에너지 생산 등으로 영역을 1차 생산물에만 국한하지 않고 확대하는 것이나 아직 우리나라 농산업의 경쟁력은 세계 농산업 강국들과 겨루기위한 방안이 필요함.
- 이를 위한 방안으로 정보통신기술을 접목한 스마트팜이 좋은 대안이 될 수 있음. 그림 1을 살펴 보면 농업 ICT를 통한 생산의 자동화 농가가 증가하는 방향으로 발전하였고 스마트팜 기술이 정부의 정책으로 보급되고 있지만, 현재까지 스마트팜 기술의 보급 및 발달의 속도는 빠르지 않음.
- 개별적이고 폐쇄적인 서비스 플랫폼을 넘어서 수평적이고 개방적으로 관련 정보들과 연계 가능한 플랫폼을 개발하기 위해 IoF(Internet of Farm)의 초기 단계인 센서, 정보 축적, 빅데이터 구축이 필요하며 디지털 농업의 혁신을 마련한 전기로 삼아야 함.
- 주요국별 농업 ICT 융합 분야 기술 수준 및 기술 격차(그림 2)에서 우리나라는 IT강국임에도 불구하고 농업 ICT 융합분야 기술 수준에 있어서는 다소 떨어져 네덜란드보다는 약 5년정도 기술 격차가 나는 것으로 판단됨.
- 더 나아가, 네덜란드, 미국, 이스라엘, 일본 등 이미 앞서가고 있는 기술의 수입을 줄이고 국내 독자적인 기술 확보가 필요함.

1) IPCC(Intergovernmental Panel Climate Change)은 기후 변화에 관한 정부간 협의체

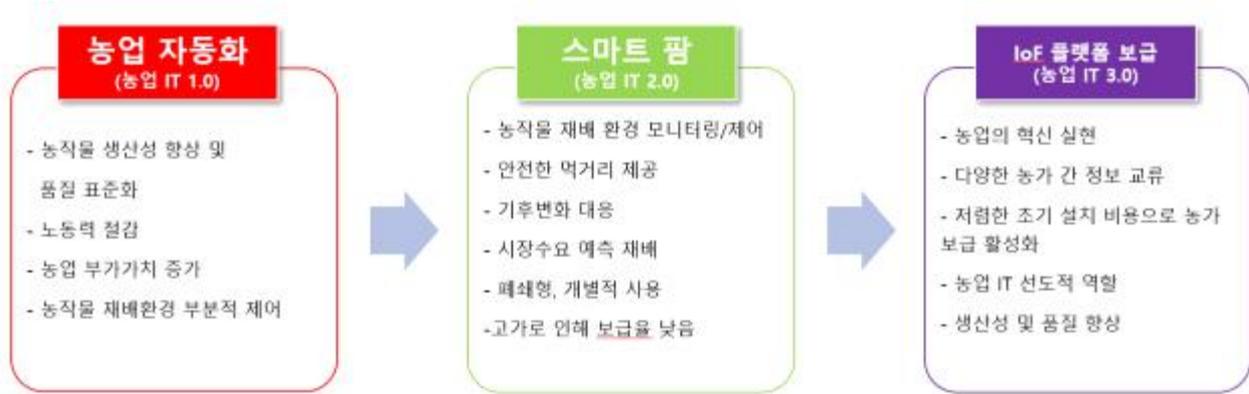


그림 1. 농업생산 시스템에 IT기술 적용의 발전(이상엽, 박성규, 2019, 스마트팜 다부처 패키지 혁신기술개발)

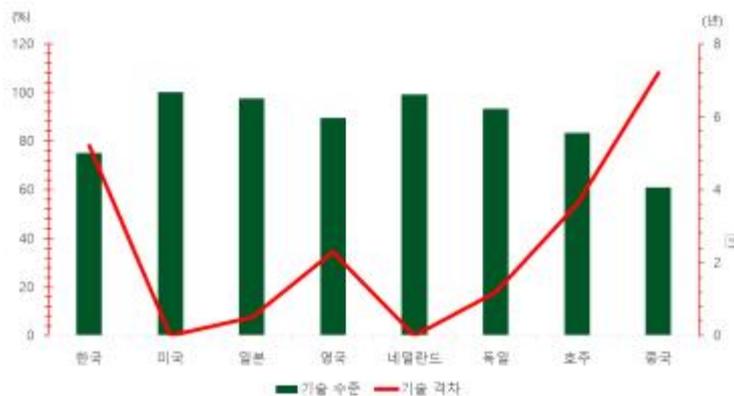


그림 2. 주요국별 농업 ICT 융합 분야 기술 수준 및 기술 격차(한국농촌경제연구원, 현대증권)

□ 세계화 및 농산물 생산에 대한 안전 및 지속가능성

- 세계화와 식품 생산 단계의 복잡성으로 인해 안전하지 않은 먹거리에 대한 불안감 확산으로 안전하고 건강하게 재배된 지역농산물 수요의 증가와 고품질 유기농 작물에 대한 가치가 증가하는 추세임.
- 환경오염, 대기오염 및 다양한 질병으로 인하여 소비자들의 깨끗한 먹거리에 대한 수요는 증대하고 있으며, 도시 내 인공광을 적용한 식물공장은 밀폐된 환경에서 미세먼지, 황사, virus 등 오염으로부터 차단되어 무농약으로 재배되기 때문에 경쟁력이 있는 작물생산이 가능함.

□ 도심형 스마트팜 도입의 필요성

- 농업 부문은 온실가스의 배출기능과 흡수기능을 동시에 가지며, 이러한 특수성에 따른 농업 부문 온실가스 감축에 따른 경제적 파급효과는 상당히 클 것으로 예상됨.
- 한국농촌경제연구원에서 추정한 농업 부문의 에너지 소비 구조는 1,826천 TOE(0.5%)인 것으로 나타났으며 CO<sub>2</sub> 배출량은 2,259천 톤(0.5%) 수준인 것으로 나타남(표 1).

표 1. 경제 부문별 에너지소비량 및 CO<sub>2</sub> 배출량(김충실 등, 2008, 농업부문 에너지 소비의 CO<sub>2</sub> 배출량 분석)

산업		에너지 소비		CO <sub>2</sub> *	
		열량(TOE)	비중(%)	배출량(톤)	비중(%)
중간 수요 부문	농업 부문	1,826,052	0.5	2,259,516	0.5
	임수산업	1,526,796	0.4	2,536,936	0.5
	비농업 부문	348,186,877	90.5	133,274,447	89.9
	계	351,539,725	91.4	438,070,901	90.9
최종수요부문(민간소비)		33,101,302	8.6	43,951,783	9.1
합계		384,641,027	100.0	482,022,683	100.0

\* 에너지 투입에 대해 실제 연료로 사용된 부분만 추계한 것임.

- 농업 부문에서 가장 많이 소비되는 화석 에너지는 경유가 826,545TOE이며, 이로 인한 CO<sub>2</sub> 배출량은 1,256천 t-CO<sub>2</sub>인 것으로 나타났으며, 전력 부문을 중심으로 보면 화력과 원자력이 각각 416,358TOE, 281,871TOE로 농업 부문 전체 에너지 소비의 34%를 차지함(표 2).

표 2. 농업 부문 에너지원별 소비량 및 CO<sub>2</sub> 배출량(김충실 등, 2008, 농업부문 에너지 소비의 CO<sub>2</sub> 배출량 분석)

에너지원	농업 부문		에너지원	농업 부문	
	TOE	t-CO <sub>2</sub>		TOE	t-CO <sub>2</sub>
무연탄			중유	5,463	17,351
유연탄			액화석유가스	8	4
원유			윤활유 제품	64	97
천연가스(LNG)			기타 석유 정제품	52,892	191,999
연탄	129,169	510,561	수력	14,602	
기타 석탄 제품			화력	416,358	
나프타			원자력	281,871	
휘발유	77,681	220,792	자가 발전		
제트유	305	894	도시가스	3	4
등유	51,090	62,164	열 공급업		
경유	826,545	1,255,650	계	1,826,052	2,259,516

- 농업 부문 CO<sub>2</sub> 배출량을 세부 작물별로 보면 경종 부문의 채소 부문(552천 톤, 24.4%)의 CO<sub>2</sub> 배출량이 가장 많은 것으로 나타남(표 3).
- 이는 시설재배로 인한 난방을 위하여 연탄, 경유 등의 에너지 투입량이 높기 때문인 것으로 판단하였음.
- 도심형 스마트팜의 경우 외부 기상환경과 차단되어 있기 때문에 난방 및 냉방에 투입되는 에너지량이 현저히 낮아 CO<sub>2</sub> 배출량을 줄이는데 효과적임.

표 3. 농업 에너지 소비에 따른 작물별 CO<sub>2</sub> 배출량(김충실 등, 2008, 농업부문 에너지 소비의 CO<sub>2</sub> 배출량 분석)

구분		CO <sub>2</sub>		구분		CO <sub>2</sub>	
		배출량(톤)	비중(%)			배출량(톤)	비중(%)
1	벼	341,720	15.1	14	화훼작물	172,277	7.6
2	보리	47,888	2.1	15	천연고무	0	0.0
3	밀	2,735	0.1	16	종자 및 묘목	4,751	0.2
4	잡곡	14,420	0.6	17	기타 비식용작물	26	0.0
5	채소	551,694	24.4	<b>경종 계</b>		<b>1,327,385</b>	<b>58.7</b>
6	과실	121,164	5.4	18	낙농	229,920	10.2
7	콩류	9,973	0.4	19	한육우	521,202	23.1
8	감자류	9,733	0.4	20	양돈	124,498	5.5
9	유지작물	1,185	0.1	21	가금	36,654	1.6
10	약용작물	27,487	1.2	22	기타축산	19,857	0.9
11	기타 식용작물	5,538	0.2	<b>축산 계</b>		<b>932,131</b>	<b>41.3</b>
12	섬유작물	66	0.0	<b>농업 계</b>		<b>2,259,516</b>	<b>100.0</b>
13	잎담배	16,728	0.7				

- 도심지역의 공동화 발생으로 대도시 및 중소도시를 막론하고 쇠퇴 현상이 심화되고 있음(김연중 등, 2013, 인공광형 식물공장 경영 모델 연구).
  - 서울 종로구와 중구의 경우 1975년 34만 7,759명과 28만 4,832명이던 인구가 2010년 15만 575명과 12만 1,144명으로 절반 이상 줄었음.
  - 도심 공동화 현상에 대한 방안으로 도심 재개발을 통한 직주근접형 도시 개념이 주목받고 있으며, 이에 따라 종합적 도시재생에 대한 새로운 대안이 필요함.
- 최근, 도시와 농촌 간 불균형 성장으로 인한 농촌 소멸 위기가 한국사회의 지속가능성까지 위협한다는 위기 의식이 대두되고 있음.
  - 농업기술의 대중화 및 새로운 수요 창출을 통해 도농 간 격차 해소를 이루어 지역 균형발전과 포용적 성장을 이룰 필요가 있음.
- 전 세계적으로 천연물 신약 및 개별 인정형 건강기능식품의 천연물 산업이 급속도로 성장하고 있으며, 관련 소재 발굴 및 제품 개발이 활발하게 이루어지고 있는 상황임(정상훈 등, 2018, 식물공장을 이용한 고기능성 식물 원료 대량 생산 시스템).
  - 노지 재배하는 경우, 재배 지역, 재배 시기, 기후 등에 따라 원료의 품질 변화가 발생하여 이들의 품질을 확인하기 위한 비용과 제품 생산 시 규격 및 품질 유지비용이 지속적으로 발생함.
  - 산업체가 균일한 품질의 원료를 안정적으로 수급할 수 있다면 기회비용의 감소가 가능함.
  - 인공광 적용한 식물공장은 통제된 환경조절 하에서 식물의 연중 계획 생산이 가능한 시스템을 의미하며, 노지 재배하는 경우보다 매우 균일한 품질의 원료를 생산할 수 있으며, 각종 환경제어를 통해 더욱 고품질의 식물을 생산할 수 있는 가능성도 지니고 있음.
  - 또한, 폐쇄된 공간에서 재배함으로써, 외부 오염물질의 혼입 가능성이 매우 낮아 농약, 중금속 등의 오염물질 혼입 가능성이 매우 적음.

- 나고야의정서<sup>2)</sup> 발효에 따라 해외 생약 식물의 원재료 수입 및 제품 수출에 많은 제약이 예상되므로, 주요 해외 생약 식물에 대하여 안정적인 국내 재배 시스템 확보가 중요함.
- 해외 생약 식물의 경우 국내 기후에 적응하지 못할 수 있으나, 식물공장에서는 환경 제어가 가능하므로 이를 활용하면 다양한 해외 생약식물을 국내에서도 생산할 수 있음.
- 국내에서 고품질의 다양한 식·의약 원료를 생산하는 경우, 국내 산업에 활용할 수 있을 뿐 아니라 원료 자체를 해외에 수출할 수 있는 신산업 창출도 가능함.

## 1.2. 연구의 목적 및 범위

### □ 도심형 스마트팜과 관련된 여건

- 스마트팜의 확산이 필요한 시기이며, 정부도 스마트팜 확산을 위해 다방면으로 정책을 수립·시행하고 있음. 스마트팜 확산 사업, 스마트 농업 모델 개발 사업, 자금 지원사업, 교육 지원, 단지 조성 등 많은 정책 등이 있음.
- 농림축산식품부는 ‘16년 ‘수직형농장 비즈니스모델 실증사업 추진계획(안)’을 발표하였으며, ‘18년 관계부처와 함께 ‘스마트팜 확산 방안’을 발표하여, 기존의 농가 중심 시설·기자재 보급 지원 정책을 보완하려 함.
  - 더 나아가 정책 범위를 청년 농업인 교육과 창농, 전후방 기업의 기술 실증 등으로 확대하여, 농업 부문 혁신성장의 거점을 마련하고자 함.
- ‘21년 스마트농업 육성 및 지원에 관한 법률 제정(안) 입법예고를 하였음.
  - 주요 내용에는 스마트 농업법의 제정 목적 및 주요 용어 정의(1-2조), 스마트 농업 육성 및 지원 추진 체계의 마련(5-8조), 스마트 농업 육성 및 지원을 위한 기반 조성(9-13조), 스마트 농업 인력 육성 및 홍보(14-18조), 스마트 농업 기술 개발 및 표준화 지원(19-23조), 스마트 농업 데이터 수집 및 활용 활성화(24-28조), 스마트 농업 보급 및 확산(29-37조) 및 청문(38)조를 참조할 수 있음.
- 스마트팜 도입 및 운영의 문제점으로는 초기투자비가 많이 들어가며 스마트팜을 운영할 때 소요되는 유지관리 비용 등이 높음.
- 보급된 스마트팜의 기술에 대한 신뢰성 및 목적을 달성할 수 있는 확실성과 경영주의 경영 능력 부족, 스마트팜 공급 기기의 품질 및 규격화가 있음(Higgins et al., 2016).

### □ 스마트팜 보급 운영의 문제점을 해결할 수 있는 정책 및 제도

- 초기투자비 및 운영비 문제는 모태펀드와 클라우드 펀딩을 이용할 수 있으며, 중요한 것은 민간 투자가 활성화될 수 있는 제도 마련이 필요할 것으로 생각됨.
- 기술에 대한 확실성에 대해서는 현재 운영되고 있으며 성공한 사례들이 있어, 이를 벤치마킹할 수 있도록 견학과 홍보가 필요할 것임.
  - 2016년에 설립된 그린케이팜은 ‘딸기 베드 업다운 시스템’과 ‘히트 펌프’를 사용해 딸기 뿌리에 온수를 공급하는 ‘근권 난방’을 도입해 단위면적당 국내 최대 생산량을 이루어내고 있음(그림 3).
  - 또한, 환경조절이 용이하여 4-6월에도 딸기를 출하하고 있으며, 저온 창고까지 갖추고 있어 늦

2) 생물자원을 활용하며 생기는 이익을 공유하기 위한 지침을 담은 국제협약

봄과 초여름까지 청과물 시장에 딸기를 납품하고 있음.



그림 3. 그린케이팜 ‘딸기 베드 엷다운 시스템’(사진제공: 저자)

- 경북 상주시의 농업회사법인 새봄(그림 4)은 일반토마토와 방울토마토를 재배하고 있으며 반밀폐형 온실로 규모(5ha)가 클 뿐 아니라 동일 분야 최고의 첨단시설(스마트 복합환경 관리 제어 시스템 포함)을 갖추고 있음.
- 새봄의 유리온실은 비닐 온실에 비해 에너지는 70% 이상, 인건비는 50% 이상 절감 효과를 보고 있으며, 대형 첨단온실로서 국내 스마트팜의 롤 모델로 주목받고 있음.



그림 4. 새봄에서 재배되는 스낵 토마토(사진제공: 농업회사법인 새봄)

- 스마트팜 운영 기술 및 경영기술 부족은 컨설팅 업체를 양성하거나 겨울철 영농교육 시 스마트팜 관련 교육을 정례화하고 경영주의 능력, 자본금, 작목, 시설 규모, 시설 형태가 고려된 맞춤형 스마트팜 보급방안이 필요할 것임.
- 스마트팜을 도입한 농가가 스마트팜 기기에 대한 품질 문제가 있을 수 있고, 운영자가 주로 애로점으로 들고 있는 것으로는 기기 공급회사마다 규격 및 기능이 달라 이를 규격화·표준화가 필요할 것으로 보임.
- 본 연구에서는 첨단 농업기술·농자재·시스템을 활용한 도심형 스마트팜 모델을 수립하고, 새로운 농업·생산 유통체계 시스템으로 도심형 스마트팜 운영 모델을 제시하고자 함.
  - 농산물 생산시간-소비공간 접합 연계 첨단빌딩 농업 시스템 구축 제안
  - 도시 내 농업, 창업, 연구, 소비, 문화, 공간 제공 및 신 소득 모델 개발
  - 기초자료 조사·분석을 통해 도심형 스마트팜에 직접 적용할 수 있는 구체화 된 기본설계(안)
  - 도심형 스마트팜 구성을 체계적으로 분석하고 첨단농업, 국민의 삶의 질, 지속 가능 농업, 비즈니스 생산모델, 창업, 교육 등 목표별 개념 및 도심형 스마트팜 운영 모델을 제시

## 제2장 도심형 스마트팜 국내·외 산업 및 R&D 동향

### 2.1. 도심형 스마트팜 국내·외 산업 동향

#### 가. 국내 도심형 스마트팜 시장 및 산업 동향

##### □ 국내 도심형 스마트팜 시장 현황

- 국내 도심형 스마트팜 시장 규모 조사·분석 결과(강대현 등, 2020, 도시형스마트농업모델 개발을 위한 자료조사 분석), 도심형 스마트팜의 시장은 '18년 한국 시장은 233.4백만 USD 규모였으며 '28년 한국 시장은 CAGR<sup>3)</sup> 14% 성장하여 860백 만 USD로 전망되었음(그림 5).
- 식물공장에 대한 연구는 1990년대부터 연구가 이루어지기 시작하여 현재 LED를 광원으로 한 완전제어형 식물공장에 대한 연구가 집중되고 많은 기업이 참여하여 실용화를 이루고 있음(이용범 등, 2020, 시설재배 글로벌 융복합 혁신센터 구축 기본계획 수립).
  - 과채류 중에서는 사철딸기를 비롯한 엽채류 재배용 식물공장을 중동지역에 판매하고 있음.
  - 도심형 스마트팜의 대표적인 식물공장 시장은 14.5% 고성장 중이며, 내수시장은 샐러드 중심의 대형 유통체인 체계로 급격한 시장 확대 및 기술 수요가 폭발적임.
  - 향후 10년 동안 한국 시장이 세계시장 대비 57% 수준의 성장이 예상됨으로 선제 적인 정책 대응이 절실함(이상엽 등, 2019, 스마트팜 다부처 패키지 혁신기술개발).

##### □ 국내 도심형 스마트팜 산업체 분석

- 국내 도심형 스마트팜 산업체 규모에 대한 조사·분석 결과(강대현 등, 2020, 도시형스마트농업모델 개발을 위한 자료조사 분석), '18년 도심형 스마트팜 내수시장 규모는 2,500억 원, 시장점유율(Market Share: MS)은 45.4%였음(상위 7개 업체 합계).
- 최근 4년('15-'18년) MS 상위 7업체 CAGR 산출 결과 14%였으며(표 4), '28년 도심형 스마트팜 내수시장은 9,200억 원으로 전망되었음('18년 대비 3.7배).
- 도시(서울, 경기, 인천, 대구 등)지역에서 주로 대형유통회사에 샐러드를 납품하고 있는 업체는 총 11개 정도가 대표적이며, 직접 농산물을 생산하는 대표적인 농업회사 법인에는 팜에이트, 성진영농조합법인, 농업회사법인 산들목, 농업회사법인 그린팜 등이 있었음.
- 당기순이익 측면에서 비교하면 유통을 중점적으로 하고 있는 SPC와 신세계푸드가 각각 28,386 및 7,319백만 원으로 흑자인 반면에, 샐러드를 직접 식물공장 또는 온실에서 생산하여 납품하는 업체들은 순이익이 적자인 업체가 많았으며 그 중 성진영농조합법인이 최대 순이익 571백만 원으로 가장 높았음(표 4).
  - 향후 10년간 도심형 스마트팜의 형태가 될 수 있는 식물공장의 내수시장은 지속적으로 성장할 것으로 기대된다는 보고가 있었으며(표 5), 앞으로 지속적인 개발들이 이루어질 것으로 기대됨.
  - 식물공장의 순이익을 높이기 위한, 초기 투자비용 절감 및 식물공장 운영비 절감을 위한 기술 개발이 지속적으로 필요함.

3) CAGR(Compound Annual Growth Rate; 연평균 성장률) : 수익이 투자 기간의 연말에 재투자되었다고 가정할 때 초기 잔액에서 기말 잔액까지 투자가 성장하는데 필요한 수익률

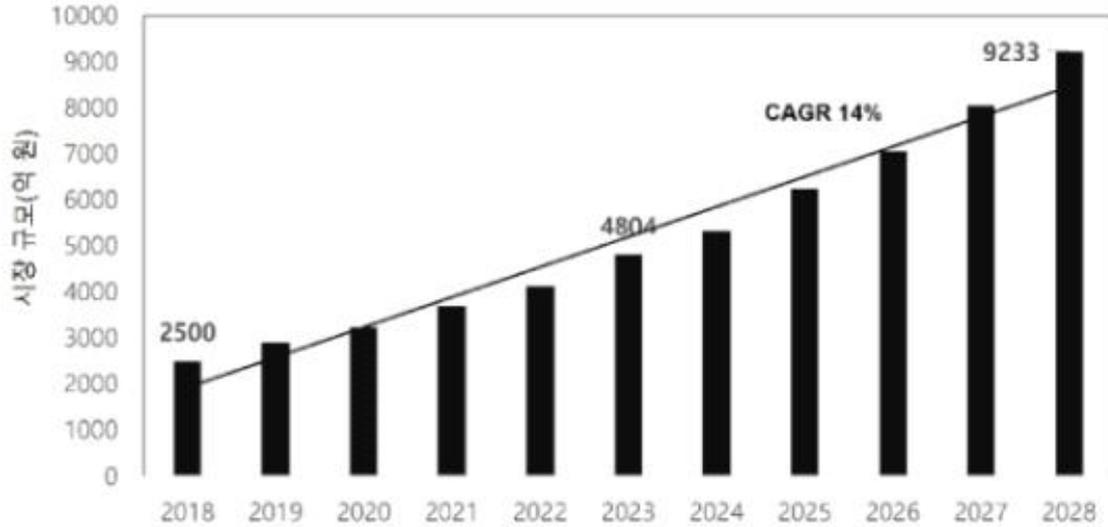


그림 5. 향후 10년 도심형 스마트팜 시장 전망(강대현 등, 2020, 도시형스마트농업모델 개발을 위한 자료조사 분석)

표 4. 대형유통업체에 샐러드 납품하는 11업체 조사(강대현 등, 2020, 도시형스마트농업모델 개발을 위한 자료조사 분석)

	상호	R&D	소재지	매출액 (백만 원)	당기순이익 (백만 원)	기준 년도	비고
1	미래원(주)→팜에이트(주)	'17-'21	경기/평택	44,060	-2,861	'18	시공계열분리
2	성진영농조합법인	-	경북/성주	32,845	571	'18	시설재배
3	(주)롯데푸드	-	대구/서구	9,536	165	'17	↑
4	농업회사법인 산들목(주)	-	경기/이천	7,999	-561	'18	↑
5	(주)네떼	-	경기/안성	6,656	122	'18	↑
6	농업회사법인 그린팜(주)	-	경기/안성	6,041	163	'18	↑
7	(주)이지식품 →(주)한경푸드프레시	-	경기/안성	5,902	-395	'18	↑
8	(주)신세계푸드	-	서울/성동	1,263,685	7,319	'18	-
9	(주)삼립식품→(주)SPC삼립	-	경기/시흥	116,327	28,386	'18	-
10	(주)엠디에스코리아	-	경기/파주	54,259	1,812	'18	-
11	(주)프레시지	-	인천/남동	21,839	-7,827	'18	전자상거래

표 5. 도심형 스마트팜 48업체 조사('18년 농진청 국감 제출자료)

	상호	R&D	소재지	매출액 (백만 원)	당기순이익 (백만 원)	기준년도	비고
1	미래원(주)→팜에이트(주)	'17-'21	경기/평택	44,060	-2,861	'18	시공계열분리
2	고려냉장식품(주)	-	경남/김해	4,991	120	'18	-
3	이음농업회사법인(주)	-	경기/김포	2,926	30	'17	-
4	진생웰라이프협동조합	-	광주/서구	1,353	43	'17	-
5	세기교역상사	-	충북/진천	925	62	'18	-
6	(주)카스트친환경농업	-	경북/구미	767	21	'16	-
7	(주)에그로닉스	-	부산/남구	305	-1,304	'16	-
8	eGreen→퓨처그린	-	경기/화성	175	-58	'18	-
9	(주)참농원	-	강원/고성	170	-223	'16	-
10	아이팜(주)→우영농원(주)	-	경기/여주	3.7	-189	'15	-
11	(주)바이오웍스	-	경북/안동	0	-51	'15	-
12	농심엔지니어링(주)	-	서울/동작	152,751	242	'18	사업화검토
13	동부라이텍(주)→(주)금빛	-	경기/부천	50,396	-7,248	'18	사업화검토
14	CJ그룹	-	서울/강남	*	*	'18	사업화검토
15	(주)스파밸리	-	대구/달성	9,243	125	'18	'14 리조트
16	(주)엑스코	-	대구/북구	24,240	880	'18	부동산임대
17	춘천산토리니	-	강원/춘천	2,788	558	'17	레스토랑
18	(주)커피명가	-	대구/중구	3,242	161	'17	'14 커피가공
19	(주)맥스포	-	경기/용인	22,631	-4,727	'16	사업화검토
20	(주)베지텍스	-	경기/고양	247	-147	'15	건설사
21	(주)뉴욕뉴욕	-	대구/수성	5,613	856	'10	'14 레스토랑
22	부산해마루학교	-	부산/기장	-	-	'18	-
23	바이오비탈	-	경남/함양	-	-	'18	-
24	(주)미라이코리아	-	서울/마포	-	-	'18	-
25	(주)태종씨엔아이	-	광주/북구	-	-	'18	-
26	태연친환경농업기술(주)	'13-'14	서울/금천	-	-	'18	-
27	리프레시함양(주)	-	경남/함양	-	-	'18	-
28	춘하추동식품공장	-	경북/예천	-	-	'18	'13 창업보육
29	해피엔조이인삼식품공장	-	경북/경산	-	-	'18	'12 창업보육
30	두원산업개발(주)	-	경남/함양	-	-	'18	건설사
31	진원농산(주)	-	광주/서구	-	-	'18	건설사
32	(주)티피에스	-	경남/김해	-	-	'18	제조사
33	(주)청도엘이디도시식물공장 →달구벌식물공장영농기술(주)	-	대구/수성	-	-	'17	-
34	상일식물공장	-	경북/경산	-	-	'16	-
35	(주)에코브랜치	-	대구/수성	0	-13	'13	-
36	LED식물공장허브와	-	경북/청도	-	-	-	'13 창업보육
37	청풍	-	경북/김천	-	-	-	'13 창업보육
38	웰리큐	-	경북/영천	-	-	-	'13 창업보육
39	명실상주식물공장	-	-	-	-	-	'12 창업보육
40	E-로운식물나라	-	경북/군위	-	-	-	'12 창업보육
41	청도신일식물공장	-	경북/청도	-	-	-	
42	미래플랜트	-	-	-	-	-	
43	(주)청아채	-	-	-	-	-	
44	시니어클럽	-	경북/경산	-	-	-	
45	신선안	-	-	-	-	-	
46	운경제단	-	대구/수성	-	-	-	
47	영일만식물공장	-	-	-	-	-	
48	페티토	-	경북/대구	-	-	-	

□ 국내 지역별 식물공장 현황

- 그림6은 우리나라 지역별 식물공장 분포로, '19년 기준 전국 43개소 상업적으로 식물공장을 운영 중이며, 서울·경기 11개소와 대구·경북 20개소의 식물공장이 운영 중임(표 6).
- '21년 기준 상업적으로 이용되고 있는 곳은 3-4곳이며, 그 외 대부분이 교육용 및 연구용으로 경제적 문제로 대부분 운영을 중단하였음.

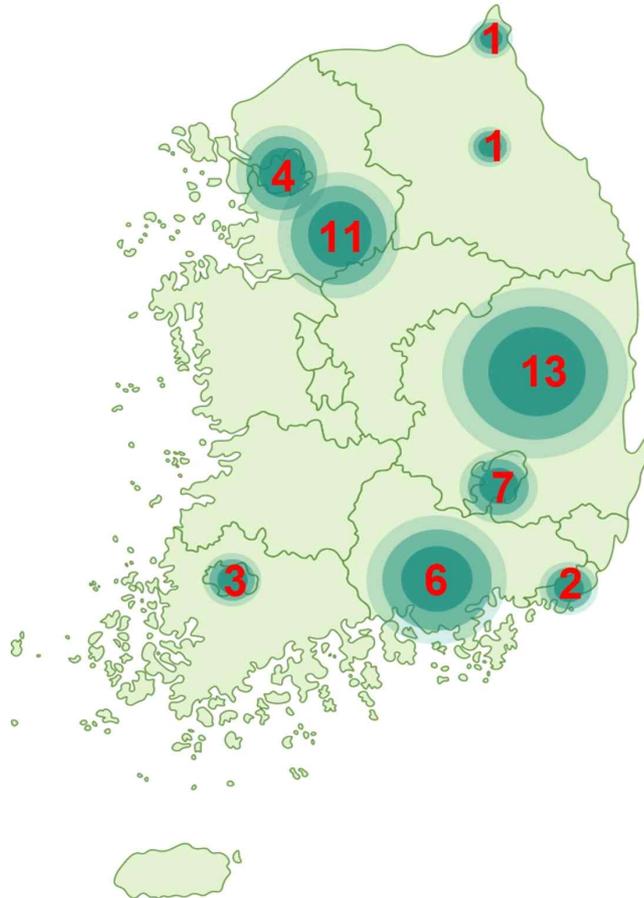


그림 6. 국내 지역별 상업용 식물공장 분포

- 엔씽(n.thing)(경기 수원)
  - 2014년에 설립되었으며, 농업기반 테크 스타트업 기업이며, '21년 현재까지도 상업적으로 왕성하게 운영 중임.
  - 모바일 서비스, 재배 기술 데이터화 등의 기술을 이용해 가정에서 간단하게 키울 수 있는 스마트 화분을 출시하였음.
  - 현재 컨테이너 내부 LEDs를 이용한 식물공장인 '플랜티큐브'를 만들어 중동 등에 수출 중임.
- 퓨처 그린(경기 수원)
  - 식물공장을 구성하는 하드웨어적 요소인 식물성장용 LEDs, 재배랙 등을 주로 판매하고 있음.
  - 그 외 자동화를 위한 배양액 순환 시스템, 배양액 공급 시스템, 냉/난방 시스템 등을 제어하는 자동 제어 시스템, 관리/운영 프로그램 등에 대한 토탈 솔루션을 제공할 수 있는 제품들이 주를 이루고 있음.

○ 농업회사법인 (주)바이오웍스(경북 안동)

- 운영인력은 총 2명으로 구성되어 있으며 판매처는 지역 농협 파머스 마켓(4곳)으로 주 생산 품목은 엽채류인 양상추, 케일, 루콜라, 바질이며, 총 면적은 188m<sup>2</sup>, 실제 생산 면적은 140m<sup>2</sup>임.
- 생산량은 하루 당 10kg, 완전제어형 식물공장으로, NFT 수경재배 시스템으로 운영되고 있으며 초기 설치비는 평당 4,000천 원, 총 240,000천 원임.

표 6. 국내 지역별 식물공장 분포(강대현 등, 2020, 도시형스마트농업모델 개발을 위한 자료조사 분석)

도	시/군/구	업체명	도	시/군/구	업체명
경기	평택	팜에이트	경북	군위	E-로온식물나라
	부천	금빛		청도	청도신일식물공장
	김포	이음농업회사법인(주)		안동	(주)바이오웍스
	여주	우영농원(주)		구미	(주)카스트친환경농업
	화성	퓨처그린		예천	춘하추동식물공장
	용인	(주)맥스포		경산	해피엔조이인삼식물공장
	고양	(주)베지텍스		경산	시니어클럽
서울	동작	농심엔지니어링(주)		경산	상일식물공장
	강남	CJ그룹		김천	청풍
	마포	(주)미라이코리아		영천	웰리큐
	금천	태연친환경농업기술(주)		청도	LED 식물공장 허브와
강원	고성	(주)참농원		상주	명실상주식물공장
	춘천	춘천산토리니		포항	영일만식물공장
경남	김해	(주)티피에스		대구	달성
	김해	고려냉장식품(주)	북구		(주)엑스코
	함양	바이오비탈	중구		(주)커피명가
	함양	두원산업개발(주)	수성		(주)뉴욕뉴욕
	함양	리프레시함양(주)	수성		달구벌식물공장영농기술(주)
광주	북구	(주)태종씨엔아이	수성		(주)에코브랜치
	서구	진원농산(주)	수성		운경재단
	서구	진생웰라이프협동조합	부산		남구
		기장			부산해마루학교

□ 국내 도심형 스마트팜 산업체 현황

- 팜에이트(주)(그림 7)는 신선샐러드, 어린잎채소, 새싹채소, 파프리카 등을 재배하고 있으며, 대형 마트·백화점·식자재·편의점 등 32개 유통상에 제품을 공급하고 있으며, 내수시장 1등을 달리고 있음(강대현 등, 2020, 도시형스마트농업모델 개발을 위한 자료조사 분석).



그림 7. 팜에이트 식물공장 사례(사진제공: 팜에이트(주))

- 와이즈산전은 CCFL<sup>4)</sup>+백색형광등+컬러 형광등의 인공광을 이용하여 다단식 식물공장(3단)을 운영하고 있으며, 롤로로사, 적치마, 청치마, 양상추, 토마토, 아이스플랜트 등을 재배함(유전용 등, 2019, 지능형 스마트팜 플랫폼 수출연구사업단 동향).
- 파루스는 식물재배용 LED 조명을 생산하며 작물별 최적의 광 파장대를 제공하고 있으며, 식물 재배 원천특허를 등록 완료하여 다양한 제품을 생산할 수 있는 기반 기술을 확립하였음. 또한, 모든 파장을 구현할 수 있는 다양한 형태의 LEDs 파장 기술을 보유하여 식물 성장, 발아, 착색 등을 조절할 수 있는 식물공장을 운영하고 있음.
- 리프레시 함양(주)는 2010년 경남 함양군 3751㎡ 부지에 195㎡ 10개 동 설립하여 시작함. 자체 개발 배합토를 이용한 돔형 식물공장으로 LED 인공조명 및 인공적인 환경제어 시스템 등을 적용하였음. 일본 아소팜랜드와 기술 협약을 통해 버섯과 채소재배 기술을 지원받고 있음.
- 세이푸드 식물공장은 상추와 샐러드용 작물, 비트, 루콜라 등의 허브류를 재배하고 있음. 태양광 병용형 식물공장으로 지열과 전기를 활용하여 온도를 조절하고, 전 과정을 자동제어시스템으로 운영하고 있음.
- 경남 울주의 인삼재배공장은 2011년 설립되어 발아부터 재배까지 모두 자동화되어 있어 재배지 밖에서 스마트 제어가 가능하며, 광원기술의 한계로 상추 등 엽채류에 머물렀던 식물공장의 용도를 특용작물인 인삼으로 확대했음(전향수 등, 2016, 식물공장의 국내외 추진 동향).
- ㈜에그로닉스는 광원기술의 한계로 상추 등 엽채류 생산에 머물렀던 식물공장의 용도를 특용작물인 인삼으로 확대하여 재배하고 있으며, 발아부터 재배까지 모두 자동화 시스템이며 인력 없

4) CCFL(Cold Cathode Fluorescent Lamp): 냉음극관 형광램프는 음극을 가열하지 않고 전자를 방출함

이 스마트 제어가 가능함(유전용 등, 2019, 지능형 스마트팜 플랫폼 수출연구사업단 동향).

- 유양디앤유는 자체 개발한 LED 식물공장을 중국 칭다오지역에 건립하여 상추, 딸기 등을 재배하고 있음. 작물 발아를 위한 최적 환경을 제공하는 발아재배장치와 식물재배시스템 등 특허기술을 적용하였으며, 이산화탄소 공급과 냉난방, 무인 방제, 양액 공급 등을 스마트기기로 통합 관리할 수 있는 솔루션을 제공함(전황수 등, 2016, 식물공장의 국내외 추진 동향).
- 만나 CEA는 아쿠아포닉스 시스템 재배방식이며 태양광 이용형 밀폐 온실 구조임. 샐러드 채소 8종, 잎채소 8종, 허브 13종 생산하고 있으며, 신선식품 배송 서비스인 '만나박스'도 운영함. 최근 사우디아라비아와 수직형 아쿠아포닉스 농장의 환경제어시스템 수출계약 진행이 완료되었고 프로젝트를 시행 중에 있음.
- ㈜맥스포(그림 8)는 실평수 80평으로 15년 매출은 175억 원이었으며, 센서 네트워크를 이용한 제어 분석(HW-시스템)을 실시하고 있음.



그림 8. ㈜맥스포 식물공장 사례(유전용 등, 2019, 지능형 스마트팜 플랫폼 수출연구사업단 동향)

- 태종 씨앤아이는 오토팜 식물공장(4층 건물, 재배단지, 연구소, 카페, 사무실로 구성)으로 165m<sup>2</sup> 규모 면적에 6단 재배를 하고 있음. 소형 식물공장을 모듈화하였으며, 업소용 및 농업-소형 식물공장 모듈화를 통해 식물공장을 개발하였음(이용범 등, 2020, 시설재배 글로벌 융복합 혁신센터 구축 기본계획 수립).
- 참농원은 식물공장 설계 및 시공 전문 업체로 강원도 고성군 경동대 창업보육센터에 5단 3조 (4.8m×1.2m) 식물공장 2개 시스템을 설치하였음. 해양심층수 이용 작물 재배 연구, 설치비를 40%까지 낮춘 저비용 보급형 식물공장 개발 및 조류 생산 바이오매스 기술개발 중임(이용범 등, 2020, 시설재배 글로벌 융복합 혁신센터 구축 기본계획 수립).
- 알가팜텍(그림 9)은 미래의 신농업인 바이오와 IT 기술을 결합한 신산업을 지향하며, 휴대용 파종기, 식물 재배대 등 특허출원, 전용 홈페이지를 이용한 BtoC 판매, 재배기술 향상을 통한 확장 계획이 있으며, 식물공장 특허 세계 4개국 진입 등 사업을 확장하고 있음.



그림 9. 알가팜텍 식물공장 사례(유전용 등, 2019, 지능형 스마트팜 플랫폼 수출연구사업단 동향)

- 베지텍스(그림 10) 일산팜은 원통형 재배홈통을 길이 방향으로 3라인, 프레임을 중심으로 좌우 2열 배치하여 청치마상추, 웨이브 양상추, 비타민 등을 재배하고 있으며, 재식판을 로프로 끌어당겨 한쪽에서 수확하는 방식을 사용하고 있음.
- 일본 페어리플랜트테크놀로지사 형태의 실용적 시스템 구축하여 일일 1,900포기 생산이 가능함 (김연중 등, 2013, 식물공장의 전망과 정책).



그림 10. 베지텍스 식물공장 사례(사진제공: 베지텍스)

## 나. 국외 도심형 스마트팜 시장 및 산업 동향

### □ 국외 도심형 스마트팜 시장 현황

- 국외 도심형 스마트팜 시장 규모 조사·분석 결과(강대현 등, 2020, 도시형스마트농업모델 개발을 위한 자료조사 분석), '18년 세계시장은 2,230백 만 USD 규모로 파악되며, '28년 세계시장은 CAGR 24.6% 성장하여 19,840백 만 USD로 전망됨(그림 11).
- 세계시장은 신선 채소 중심의 수입시장 대체로 시장 확대 및 기후 변화 대응에 힘쓰고 있음.
- 중국농업과학원은 과학기술부가 지원하는 2013년부터 지능형 식물공장 생산기술 국책사업을 시작해 15개 대학, 연구소, 민간기업이 참여하였음. 또한, 중국은 지식경제부가 2009년부터 'IT LED 기반 플랜트 공장 주요 부품 개발'이라는 연구 프로젝트를 시작하였으며, 국내 PFAL<sup>5)</sup> 사업의 연간 국내 시장 규모는 6억 달러에 육박함(Nguyen et al., 2019).

5) PFAL(Plant factory with artificial lighting): 인공광 이용형 식물공장 밀폐된 공간에서 인공광을 이용하며 수경재배를 적용한 작물 생산 시스템으로 공정이 표준화되어있으면 규격화된 생산물을 연중 안정적으로 공급가능한 생산 시스템.

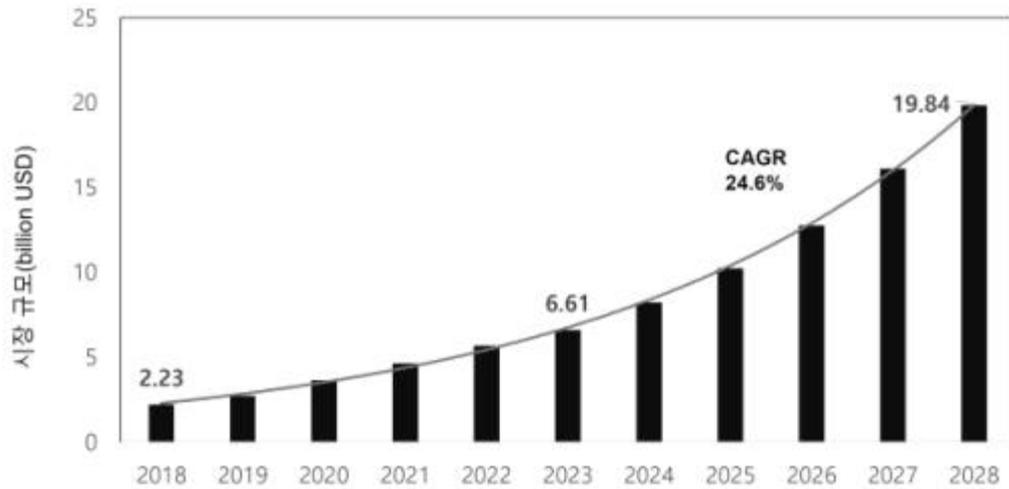


그림 11. 향후 10년 도심형 스마트팜 세계시장 전망(강대현 등, 2020, 도심형스마트농업모델 개발을 위한 자료조사 분석)

- 미국에서는 최근 제약 단백질 제품(항원제 및 항체)을 생산하기 위해 여러 대규모 상업 시설이 건설되었으며, 최근에는 시카고와 같은 대도시와 가까운 곳에 상업용 PFAL 시설이 세워졌음. 또한, 미국 남극기지에서 신선한 채소를 생산하기 위한 소형 PFAL이 개발되었음(Kozai, 2019).
- 네덜란드에서는 2014년과 2015년 민간기업의 연구개발을 위해 비교적 규모가 큰 PFAL 2곳이 구축돼 대규모 PFAL 상용화를 목표로 하고 있음(Lu et al., 2016).
- 일본의 경우 2014년 3월에 발표된 농림수산부 조사에 따르면,
  - PFAL의 75%는 민간 기업이 운영하고 있음(나머지는 대부분 법인 농업단체가 운영).
  - PFAL의 55%는 운영실과 사무실을 포함하여 바닥면적이 1,000m<sup>2</sup> 미만임.
  - 연간 매출액이 5,000만 엔 미만임.
  - PFAL의 75%가 형광등을 광원으로 사용함.
  - PFAL의 35%는 보조금과 대출을 모두 받았으며, 30%는 보조금과 대출을 받지 않음.
  - 또한 20%는 대출을 받지 않았고, 15%는 응답하지 않았음(Kozai, 2019).
- 또한, 2010년 6월 치바 대학 가시와노하 캠퍼스에 비영리 단체인 일본공장공장협회(JPFA)가 설립되었음(Kozai, 2019).
  - JPFA 법인 회원 수는 2010년 60명, 2014년 98명이었음.
  - JPFA는 두 가지 역할을 하고 있으며, 하나는 치바 대학과의 협업이고, 다른 하나는 국내외 기관과의 협업을 통해 매월 만나질 세미나, 월 2일 또는 3일 교육 과정, 컨설팅 서비스, 캠퍼스 방문자를 위한 가이드 투어, 기업 회원사와의 협업 R&D를 진행해오고 있음.
- 대만(그림 12)에는 '14년 기준 PFAL을 이용한 엽채류 생산을 위한 45개 기관이 있으며, 최근 다양한 규모의 PFAL이 56개 건설·운영되고 있음(Wei Fang et al., 2019).
  - 이들 45개 기관 중 연구기관 2곳, 대학 4곳, 민간기업 39곳이 그림 3.5와 같이 참여하고 있음.
  - 대학과 연구기관이 만든 PFAL은 자체 자금과 정부로부터 재정 지원을 받고 있지만 정부는 민간 기업에 대한 지원을 하지 않고 있음.
  - 일부 기업은 주로 중국을 중심으로 해외의 터키 PFAL 수출 및 건설에 착수했음.



그림 12. '14년 대만의 PFAL 현황(Wei Fang et al., 2019)

□ 국외 도심형 스마트팜 산업체 현황

- 화이트팜은 미국 기업으로 제너럴밀즈의 식물공장생산시스템을 인수한 뒤 심야전기를 이용하여 상추, 시금치 등과 허브류 생산함. 재배 면적이 4,800㎡에 달하며 16개의 재배라인에서 생산된 농산물은 슈퍼마켓과 유나이티드항공사의 기내식으로 공급됨(유전용 등, 2019, 지능형 스마트팜 플랫폼 수출연구사업단 동향).
- 에어로팜
  - 미국 뉴저지주 뉴어크시의 수직농장 업체로 노후한 철강공장을 리모델링하여 6,400㎡ 면적의 세계 최대 규모의 수직농장을 운영 중에 있음.
  - 10m 높이의 건물 내 7-8단으로 설치된 재배대에서 연간 1,000톤의 채소를 생산하고 있으며, 샐러드, 주스 등으로 가공하는 시설까지 함께 설치하여 부가가치를 높이고 있음(강대현 등, 2020, 도시형스마트농업모델 개발을 위한 자료조사 분석).
  - LED 조명을 적용하고, 뿌리에 영양분을 섞은 물안개(mist)를 뿌려 생산하는 방식(분무경)을 도입하여 식물공장의 가장 큰 걸림돌인 경제성 문제와 맛이 없는 문제까지 해결함.
- 어반푸드허브는 미국의 식품 시스템을 도시적, 분산적, 포괄적, 통합적으로 재정비하여 식품 생산에서부터 식품 준비, 식품 유통, 폐기물 및 물 회수 및 재사용을 통한 폐쇄루프시스템에 이르기까지 식품 시스템의 전체 가치사슬을 통합함(O'Hara et al., 2017).
- 크롭원홀딩스
  - 미국의 대표적 농기계기업 중 한 곳으로 '19년 두바이에 에미레이트항공과 세계 최대 수직농장을 착공함(12,000㎡, 4천만 USD).
  - 어디서나 작물을 키울 수 있도록 모든 것을 하나로 통합한 컨테이너형 농장으로 케일, 아루굴

라, 양배추 등을 재배하며 비GMO 종자 신제품을 개발하였음(Bricas et al., 2019).

- 지속 가능한 농업 시스템으로 기존의 농업에 비해 물 사용량을 99% 줄였고, 30㎡(약 9평)의 면적으로 기존 농업의 수만 평의 농지를 대신할 수 있음. 효율적 양액관리시스템, 플랜트 성능 제어, 재생 포장 용기를 이용하여 환경보호 및 농장 내 경제성을 높임.
- 그린센스팜(그림 13)는 미국 기업으로 재배 베드가 12m, 7,000개의 philips LED modules이 장착되어 있음(2,787㎡). 허브류와 엽채류를 24시간 365일 생산이 가능하며, 연간 150만 톤 생산이 가능함. 일주일에 두 차례 채소를 수확하여 도시민들에게 공급함.



그림 13. 그린센스팜 식물공장 사례(사진제공: 그린센스팜)

- 아이론옥스는 미국 기업으로 토마토, 바질, 오이, 상추 등 재배하고 있으며, 1년에 17번 수확하여 지역 마켓, 식당, 학교 등에 납품하고 있음, 재배로봇 등을 도입하여 농장 자동화함(그림 14).



그림 14. 아이론옥스 식물공장 사례(사진제공: 아이론옥스)

- 홀티막스는 네덜란드 기업으로 인공광을 이용한 작물 재배 자동화 시스템을 개발하였으며 양액 공급 시스템을 연구하고 있음. 다양한 센서 및 날씨 정보를 이용하여 시설의 기상정보를 예측하고 시설 내의 온도 편차를 최적화하는 솔루션을 제공함(유전용 등, 2019, 지능형 스마트팜 플랫폼 수출연구사업단 동향).
- 프리바(그림 15)는 네덜란드의 스마트팜 기술이 가장 발달 된 기업이며, 기업 또는 연구소를 위

한 수직농장을 설립함. 각종 센서를 기반으로 시설 내 환경을 최적으로 제어하며 최적 제어 지원, RFID 등 첨단기술을 이용하여 작물수확량 모니터링, Labor tracking 등을 지원하고 있음 (Chakrabarty et al., 2020).



그림 15. 프리바 식물공장 사례(사진제공: 프리바)

- 홀티플랜은 벨기에 기업으로 박막수경(NFT) 및 순환식 수경 재배시스템을 결합한 형태를 사용하여 작물을 재배하고 지열 히트펌프로 온도관리를 함. 재배 베드 자동 이송시스템을 중심으로 모종 자동 옮겨심기 로봇, 자동으로 심는 거리 조정방식 등 완전 자동화 생산 시스템을 도입하였으며, 피트모스에 재배한 모종은 재배 후에도 배지와 함께 뿌리째로 수확 및 유통함(Oyo et al., 2019).
- 아그리텍 이노베이션 주식회사
  - 스웨덴기업으로 작물의 성장에 따라 빛을 잘 받도록 자동으로 라인의 폭 간격을 조절하는 식물 공장시스템인 스웨데포닉(Swedeponic)을 제조하며, 상추 등 허브류를 주로 재배함(Dang et al., 2017).
  - 식물공장은 태양광병용형으로 양액은 박막수경방식(NFT)으로 공급되며, 하나의 생산단위를 구성하고 있으며, 광원은 고압나트륨 등을 사용, 냉난방은 지열히트펌프방식을 채택하고 있음.
- 그로우업어반팜(그림 16)는 런던에 위치하여 지역의 레스토랑을 위한 채소 생산을 하고 있음. 지하 유희공간(병커, 지하통로, 지하실 등)을 활용한 최초의 상업용 인공광형 식물생산시스템으로 'Unit 84'라는 인공광 이용형 식물생산시스템에서 약 560평의 면적에서 매년 20,000kg 이상의 샐러드와 허브를 생산하고 있음(Kubota et al., 2019).



그림 16. 그로우업어반팜 식물공장 사례(사진제공: 그로우업어반팜)

- 인팜(그림 17)은 독일 기업으로 중앙에서 관리, 조장하는 농업 네트워크로 실내에 자연 생태계를 구축함. 물 사용량 95% 저감, 재배 면적 0.5% 사용, 비료 사용량 75% 저감 하여 바질, 차빌, 상추, 파슬리, 라벤더 등의 작물을 재배함(Niu et al., 2019).



그림 17. 인팜 식물공장 사례(유전용 등, 2019, 지능형 스마트팜 플랫폼 수출연구사업단 동향)

- 어그리루션은 독일의 기업으로 가정용 도심형 스마트팜 제품(596×616×840mm)을 출시하였으며, 와사비, 케일, 양상추, 브로콜리, 파슬리, 바질 등을 주력하여 재배함(Hayashi et al., 2016).
- 쥘미라이(그림 18)는 일본 기업으로 형광등을 사용하여 엽채류를 재배하며, 인터넷 판매를 하고 있음.
  - EC, pH 등 배양액 관리기술도 자체적으로 개발하여 당도 등의 맛을 향상시켰으며, 현재 1일 10,000주의 상추 생산이 가능한 시설을 2곳에서 가동하고 있음.
  - LED 등 '인공광형' 식물공장에 특화하여 남극기지, 한국, 몽골, 홍콩 등으로 수출함(전황수 등, 2016, 식물공장의 국내외 추진 동향).



그림 18. 쥘미라이 식물공장 사례(사진제공: 쥘미라이)

- 도쿄드림(그림 19)은 일본 기업으로 '97년 설립하였으며 재배시설은 TS팜임. 종자나 비료의 공급, 재배기술의 지도, 기계 및 시설의 점검 등은 큐피주식회사의 플랜트 기술 등의 연수를 받고 있으며, 스시 전문점, 도시락, 샌드위치점, 인터넷쇼핑, 고급 슈퍼 등에서 판매됨(Goto et al., 2019).



그림 19. 도쿄드림 식물공장 사례(유전용 등, 2019, 지능형 스마트팜 플랫폼 수출연구사업단 동향)

- 씨씨에스는 LED 조명기기 제조업체로 자회사인 '패어리엔젤'을 설립하여 교토시에서 식물공장 병설 레스토랑을 운영하고 있으며, 태양전지를 이용한 식물공장 시스템을 실용화하기 위한 실증 실험에 착수하였음(김재훈 등, 2010, 식물공장 시스템의 동향과 발전 방향).
- 스프레드
  - 일본 기업으로 LED 다단식 수경재배 방식, 지하수를 이용한 양액재배시스템으로 프릴 양상추, 로메인 양상추, 상추 등을 생산하여 대형마트, 호텔에 납품하고 있으며, 노지 생산제품 가격 등락에 상관없이 제품 가격을 유지하고 있음(Shimizu et al., 2019).
  - 채소 생산 시스템 '베지터블 팩토리'를 개발하였으며, 교토에 세계 최대의 로봇 식물공장을 건립하여 1일 당 3만 주, 연간 천만주의 상추를 생산할 계획임.
  - 밀폐된 공장에서 해충, 오염 및 질병으로부터 보호되며 최적의 온습도를 유지하여 작물의 생육을 최대로 높여주고 있으며, 최근 물을 거의 사용하지 않고 작물 생장이 가능한 '수직 농업'을 연구함.
- 토시바(그림 20)는 공장을 식물공장으로 개조하여 시금치와 상추 등 채소를 재배하고 있음. 슈퍼마켓, 편의점, 식당 등에 출하되고 있으며, 완전 인공광 식물공장 생산 진행 중임(Ibaraki et al., 2016).



그림 20. 토시바 식물공장 사례(유전용 등, 2019, 지능형 스마트팜 플랫폼 수출연구사업단 동향)

- 어드벤스드 어그리(그림 21)는 식물공장용 조명장치인 박형 HEFL 조명시스템 개발하였으며, 기능성 채소를 중심으로 연구, 개발 진행 중임. 비닐하우스 재배보다 20~30% 생육 기간이 짧으며, 양상추, 로메인, 바질, 로즈마리, 아이스플랜트 등을 재배하고 있음(유전용 등, 2019, 지능형 스마트팜 플랫폼 수출연구사업단 동향).



그림 21. 어드벤스드 어그리 식물공장 사례(사진제공: 어드벤스드 어그리)

- 파소닉은 '14년 초 싱가포르 서부산업단지에 LED 빛과 물로 무와 배추를 재배하는 실내농장을 짓고 생산에 착수하였음.
  - '14년 7월 일식 레스토랑에 상업 판매를 개시하였고, 11월부터는 슈퍼 등에서도 판매, '15년 11월에는 싱가포르 현지에서 생산한 상추와 겨자채, 파프리카를 슈퍼마켓의 신선식품 코너에서 판매 시작함(유전용 등, 2019, 지능형 스마트팜 플랫폼 수출연구사업단 동향).
- 후지쯔는 반도체 생산 공장에서 상추를 재배하고 있으며, 90g 한 봉지를 일반 상추의 약 2배 값인 500엔에 판매하고 있음.
- 샤프는 두바이에서 실내 딸기 공장을 운영하여 중동시장을 겨냥해 가동하고 있으며 고품질의 딸기를 안정적으로 생산하는 데 회사의 재배기술이 얼마나 효과적인지에 대한 데이터 수집을 목적으로 함(김재훈 등, 2010, 식물공장 시스템의 동향과 발전 방향).
- 일본전기주식회사는 인도 푸네 지역에 온실형 공장을 지어 딸기를 재배하는데, 일본에서 원격제어로 재배함(전황수 등, 2016, 식물공장의 국내외 추진 동향).
- 칸사이철강공업은 식물공장 생산 기능성 식물을 활용한 기능성 식품을 제조 및 판매함. 식물공장산 아이스플랜트를 재배하며 아이스플랜트에 포함된 피니톨(pinitol, 혈당치 제어)을 배합한 임산부 대상 엽산 공급 기능성 식품까지 개발 및 제품화함(박종석 등, 2016, 식물공장 중장기 정책 수립 방안 연구).
- 산신금속은 식물공장 시스템 사업, 특히 금속을 활용한 공간창조를 기반으로 진행 중이며, 오사카부립대학 식물공장연구센터 컨소시엄 멤버로서 M식 수경재배와 네오플랜터를 개발 및 판매하고 재배단 및 시설 구조물을 제작함(박종석 등, 2016, 식물공장 중장기 정책 수립 방안 연구).
- M식 수경재배 연구소는 수경재배 및 식물공장 시스템을 개발하였으며 수경재배 채소를 생산 및 판매함. 형광등 기반 완전제어형 식물공장을 운영 중에 있으며 경제성을 고려한 심플설계, 높은 식물선택 자유도 및 PC를 통한 생산관리가 주요 실적임(Fujiwara et al., 2016).
- 그린랜드는 식물공장 채소를 생산 및 판매하며 식물공장 스타트업, 운영, 연구 및 설비개선 관

런 컨설팅을 함. 세계 최초로 인공광형 식물공장에서의 결구상추를 생산하였으며 저칼륨상추 재배기술을 통해 프랜차이즈를 운영 중이며 반사판을 활용한 광 효율을 극대화함(Murakami et al., 2016).

- 사회복지법인 큐피드페어는 주로 리프 양상추를 재배하여 지역 레스토랑, 슈퍼를 대상으로 판매하고 있으며, 리프 양상추를 70g에 198엔에 판매, 최근 지역 학교급식 납품에 집중하고 있음.
- ㈜페어리엔젤은 주로 양상추, 상추, 미즈나, 루콜라 등을 재배하며 일반 소매용으로 70%, 업무용으로 30% 판매하며, 생산 회전수를 올리기 위해 60g으로 크기를 줄여서 판매하고 있음(Kaneko et al., 2019).
- 텃마오그룹은 대만 기업으로 3,300㎡의 상업용 인공광 대량생산 시스템으로 식물공장을 구축함. 식물공장에서 생산된 채소를 이용하여 8개의 식당을 운영하고 있음(Meng et al., 2016).
- 글로나칼그린테크놀로지그룹(그림 22)은 대만 기업으로 상업용 인공광 식물공장을 보유하고 있음. Demonstration room에서 생산하는 1일 엽채류는 약 400포기이며, 식물공장에서 생산된 엽채류를 지역 내 400-500개 식당에 공급하고 있음.



그림 22. 글로나칼그린테크놀로지그룹 식물공장 사례(사진제공: 글로나칼그린테크놀로지그룹)

## 2.2. 도심형 스마트팜 국내·외 R&D 동향

### 가. 국내 도심형 스마트팜 R&D 동향

#### □ 국내 도심형 스마트팜 R&D 현황

- 국내 스마트팜 관련 기술개발은 1990년대 유리온실 보급과 함께 시작된 수경재배 및 자동화 시스템 개발을 통해 2004년도 농촌진흥청에 건립된 250㎡ 규모의 수평형 식물공장으로부터 시작함(김인수, 2019, 저비용, 고효율을 위한 재배 베드 시스템, 공조시스템, 인공광원 시스템, 센싱 시스템의 표준화 기술개발).
- 서울대학교 농업생명과학대학 채소학 연구실에서는 2003년부터 인공광 이용형 폐쇄형육묘시스템 개발을 시작으로 2000년대 중후반부터는 산업적으로 수익성을 확보할 수 있는 수직형 식물공장을 식품업체인 N사 그리고 R사와 함께 개발하였음.
- 농촌진흥청과 서울대에서 공동개발한 컨테이너 식물공장은 2010년에 남극 세종과학기지에 보내

성공적으로 월동 대원들의 신선한 엽채류를 공급하고 있었음. 최근 10년 만에 남극 세종과학기지에 수직농장(과채류 생산이 가능한 규모와 규격)을 보완하여 새롭게 보냈음.

- 남극 세종과학기지 대원들에게 신선 채소를 공급하게 될 새로운 수직농장은 국제규격인 40피트 컨테이너(12×2.4m)형태로, 고추, 토마토, 오이, 애호박 등 과채류까지 동시에 재배할 수 있음.
  - 엽채류와 과채류를 동시에 재배할 수 있는 수직농장이 본격 가동되면, 하루 1.5-2kg 정도의 엽채류를 생산할 수 있음(김인수, 2019, 저비용, 고효율을 위한 재배베드 시스템, 공조시스템, 인공광원 시스템, 센싱 시스템의 표준화 기술개발).
  - 농촌진흥청은 남극 세종기지에 컨테이너형 스마트팜 설치 및 가동 중이며 현재 1,300만 원인 스마트팜 설치비용을 더 낮춰, 대도시 건물을 비롯한 식물재배가 어려운 지역 및 국가에도 보급 및 수출할 계획임.



그림 23. 남극 세종기지에 설치된 컨테이너형 스마트팜 전경(사진제공: 조선비즈, 농업 기사)

- 산업적으로는 2010년부터 인성테크 사의 LED를 사용한 인공광형 다단식 식물공장 개발을 시작으로 현재까지 농촌진흥청, 전주 생물소재연구소 및 전북대학교 LED 농생명 융합연구기술센터 등에서 식물공장 기술개발 및 작물 재배 연구를 수행하고 있음(표 7).
- 국립농업과학원에서는 태양광과 LED를 이용한 연구용 식물공장을 운영하고 있으며 주로 적축면상추, 청치마상추, 로메인 등의 엽채류를 재배하고 있음. 식물공장은 6만Kcal/h 용량의 지열 냉난방 히트펌프를 이용하여 내부온도를 제어하며 인터넷 및 스마트폰을 이용해 원격 모니터링 및 환경제어가 가능함.
- 농업과 IT 기술을 연계한 식물공장에는 외부 환경과 차단된 시설에서 광합성에 필요한 환경을 조절하기 위해 청/적색 LED 광원을 설치하였으며, 방울토마토, 파프리카, 멜론, 약용작물, 화훼류 등을 재배하고 있음(전황수 등, 2016, 식물공장의 국내외 추진 동향).
- 경기도농업기술원에서는 컨테이너형 식물공장과 태양광 발전을 연계한 친환경 식물공장과 로봇을 이용한 식물공장 자동화 생산 시스템 구축을 목적으로 연구를 수행 중임(이용범 등, 2020, 시설재배 글로벌 융복합 혁신센터 구축 기본계획 수립).

- 전북대학교 익산캠퍼스에서는 국내 최대 LED 식물공장을 농생명융합기술연구센터에 설립하여 치커리, 상추, 청경채 등 7종의 채소를 1일 기준 145kg을 생산하고 현대그린푸트를 통해 판매하고 있음(전황수 등, 2016, 식물공장의 국내외 추진 동향).
- 삼육대학교에서는 도심형 식물공장 학교 기업 ‘수아그리(SU-AgRI)’를 설립하여 태양광 및 인공광(LED)을 이용하여 1년간 유기농 채소를 재배할 수 있는 자동화 농업시설을 운영하고 있음.

표 7. 국내 식물공장 관련 표준화 현황(김인수, 2019, 저비용, 고효율을 위한 재배베드 시스템, 공조시스템, 인공광원 시스템, 센싱 시스템의 표준화 기술개발)

구분	형식	목적	현황
농촌 진흥청	세종기지 인공광15㎡	연구	- 원격으로 재배기술 모니터링(원예원) * 남극 세종기지 대원 부식용 엽채소 생산
	인공광28.8㎡	연구	- 과채류 생산(고추, 토마토, 오이, 호박 등) - 1일 당 2kg 엽채류 및 과채류 생산 가능
	농업공학부 수직형 (병용, 50㎡) 빌딩형 (인공광396㎡)	연구	- 파종~수확까지 자동화 시스템 구축 - 투입기술 : 지열 냉난방, 태양광발전시스템 - 작업공정 자동화·로봇화 연구 - 식물공장 모델 및 매뉴얼 연구 수행
민간 기업	인성테크 인공광165㎡	상업	- 농심, 풀무원, 롯데마트, 신세계푸드 매장 등 60곳 설치 * 샐러드 카페 운영
	팜에이트 인공광654㎡	상업	- 샐러드 농산물 분야 유통 - 중국사 장비 도입
	(주)파루스 인공광30㎡	상업	- 대학, 연구소, 건물 빌트인 규모로 납품 * LED광 일본 수출
	카스트 친환경 농업 인공광132㎡	연구	- 적상추 등 엽채류 재배
	알가팜텍 인공광594㎡	상업	- 엽채류 재배, 농산물 유통
	고려냉장식품 인공광50㎡	상업	- 생산물 자체소비 * 일본 Alumis사 도입 설치
	그린플러스 태양광50㎡	상업	- 온실 시공전문업체→식물공장 사업 확대 * 농진청 수직재배장치 기술 이전
	베지텍스 일산팜 인공광661㎡	상업	- 생산물 판매 - 상추 등 엽채류 재배 및 판매
민간 연구소	전주생물 소재연구소 인공광221㎡	연구	- 인삼 등 특·약용작물 재배 연구
기관	경기도 농업기술원 인공광162㎡	연구	- 이동식 재배 장치(3축 리니어 방식) - 양액, CO2 환경제어에 따른 생육 특성
	대구시 농업기술센터 인공광165㎡	연구	- 엽채류 재배 최적화 - 양액, CO2 환경제어에 따른 생육 특성
대학	전북대학교LED 농생명융합기술 연구센터 인공광1,650㎡	연구	- LED 광원 및 재배 생육 최적화 연구 - 전문인력 양성

- 다양한 스마트팜 관련 사업을 통해서 계속해서 연구를 진행하고 있음(이용범 등, 2020, 시설재배 글로벌 융복합 혁신센터 구축 기본계획 수립).

- ‘ICT융합 한국형 스마트팜 핵심기반기술개발 사업’을 통해 한국형 스마트팜 모델 개발, 동식물 생육 정밀관리 모델 개발, 데이터 활용 생산성 향상 및 현장 실증 등을 지원하였음.
  - ‘첨단기술 융복합 차세대 스마트팜 기술개발사업’으로 핵심기술의 고도화를 위해 품목별/유형별 적용기술의 개발 확대 및 시범 실증을 통한 현장 적용성 향상을 지원하였음.
  - ‘SFS 사업단’에서 피노믹스 기반 작물 생육 정보 측정 장치, 온실복합 환경제어시스템, 순환식 수경재배시스템 등 수입의존 기자재 국산화 기술을 개발하였음.
- 식물공장시스템 내 작물 재배기술에 관한 연구는 기존 시설원예에 사용되었던 환경제어 기술과 양액재배 기술을 기반으로 여러 대학과 농촌진흥청 산하 연구기관에서 주도적으로 진행하고 있으며, 그 수준은 안정화/상용화 단계에 이르고 있음.
  - 식물공장 재배기술의 활용 가능성에 대한 심층 분석이 부족하여 선진국 기술개발 사례를 중심으로 한 추격형 R&D에 투자, 집중되어 있고 산업 가치사슬 전 분야에 대한 고려가 미흡함(유전용, 2019, 지능형 스마트팜 플랫폼 수출연구사업단 동향).
  - 국내 스마트팜 관련 시장 규모는 점차 늘어나고 있으며 SKT, KT 등 주요 기업들이 스마트팜 시범사업을 농업생산을 중심으로 전개하고 있지만, 생산 중에서도 모니터링 및 반자동 컨트롤 기능에 치중된 상황임.

□ 국내 도심형 스마트팜 R&D 방향성

- 스마트팜 농업과 4차 산업혁명 접목은 사물인터넷(IoT), 딥-러닝(deep-learning), 인공지능 기술(AI)을 기반으로 하는데, 핵심은 빅데이터 수집, 가공 및 활용에 있음(그림 24).

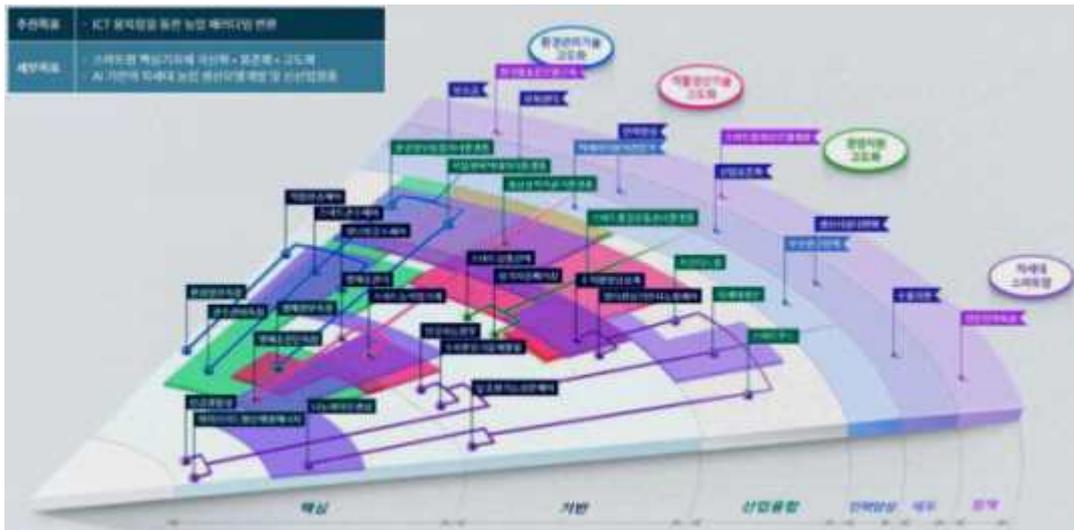


그림 24. 스마트팜 R&D 파이 (Platform for Investment & Evaluation) (강대현 등, 2020, 도시형스마트농업모델 개발을 위한 자료조사 분석)

- 스마트팜 정책 방향으로 ‘19년도 정부연구개발 12대 투자 방향에 농림수산식품 분야는 4대 분야(환경관리기술 고도화/작물생산기술 고도화/경영지원 고도화/차세대 스마트팜)에서 핵심·기반 기술과 융합기술로 분류되었는데, 제시된 투자 방향과 R&D 효율화 방안은 다음과 같음(강대현 등, 2020, 도시형스마트농업모델 개발을 위한 자료조사 분석).
- 투자 방향은 “식품 품질·안전관리 등 친환경 생산기술 개발과 농생명자원에 기반한 고부가 신산업 육성지원 강화”로 설정됨.

- 효율화 방안은 “농림수산물 분야 주요R&D, 일반R&D, 보조금 사업의 차별성을 강화하고, 다부처 협력사업 및 산업체 참여 확대”로 설정됨.
- 4차 산업혁명의 주요한 경향 중의 하나인 빅데이터, 인공지능 등 관련 기술을 활용한 맞춤형 스마트팜 솔루션 개발은 앞으로 추구해야 할 메가트렌드에 해당되는 부분으로서 향후 농·축산의 전 분야에 도입·적용해야 할 내용임에는 분명함.
  - 그러나 빅데이터, 인공지능 등 관련 기술에 대한 구체적인 확보 계획은 관련 기술의 개발 추이가 반영된 국가 전체 계획과 일치하도록 제시되어야 함(이상엽 등, 2019, 스마트팜 다부처 패키지 혁신기술개발).
- 해외 의존형·추격형이었던 기존의 스마트팜 기술개발 패러다임을 선도형 패러다임으로 전환하고 기술의 자립화 계기로 작용하여 스마트팜 기술 강국으로 도약하기 위한 발판을 마련해야 함.
  - 한국형 스마트팜 및 융복합기술 활용을 통한 효율적인 농업 R&D 추진 및 성과 확산 고도화, 교육 및 수출 사업으로 확대하여야 함(이용범 등, 2020, 시설재배 글로벌 융복합 혁신센터 구축 기본계획 수립).
- 주요 핵심 부품의 해외 의존성은 향후 탈피해야 할 주요 과제이기는 하나, 사업을 통해 모든 관련 장비나 기자재를 사업 기간 내에 완벽하게 국산화하기는 어려울 것이므로 이에 관해서는 단계별 접근/해결 방법이 필요할 것으로 보임(이상엽 등, 2019, 스마트팜 다부처 패키지 혁신기술 개발).
  - 스마트팜 관련 장비의 국산화율은 개수 기준으로 약 63%에 이르는 것으로 파악되나, 이를 가격으로 환산할 경우 국산화율은 더 낮아질 것으로 전망됨.
  - 이용도나 활용도를 고려한 관련 국산화 대상 품목을 선정하여 이를 단계적으로 추진하기 위한 전략의 제시가 필요한 것으로 평가됨.
  - 특히 센서, 제어기 등 핵심 기자재의 국산화도 중요하나, 개발 대상 품목이 전체 시스템 내 하나의 부품임을 감안한 전략(인터페이스, 규격, 통신 및 제어 방법, 표준화, 인공지능화를 위한 빅데이터화 등)이 필요한 것으로 사료됨.
  - 더불어 관련 데이터의 자립을 위한 전략까지가 포함된 사업의 전체적인 전략 제시가 필요한 것으로 판단됨.
- 미래 스마트시대에 부합하는 기술혁신을 견인하기 위해서는 물리적 공간/아날로그적 형식에서 가상(Virtual) 공간/디지털 형식으로, 폐쇄적 플랫폼에서 개방형 플랫폼으로, 음성/데이터 중심에서 지능화된 디바이스로, 대인 통신에서 사물 통신으로 진화하는 메가트렌드를 고려하여, 지향점에 따른 차별적 기획체계 구축, 다양한 가치생성방식의 활용, 성과 극대화형 R&D 수행방식 전략이 필요함(전황수 등, 2016, 식물공장의 국내외 추진 동향).
- 국내·외에서 필요한 시설재배 연구 수행한 결과에 대한 실증 시설에서의 현장 적용성 실험 및 현장 평가를 수행하는데 기존 시설과는 다른 연구시설이 필요하며, 고온 극복 생산기술, 기후 변화 대응 재배기술 개발 및 실증을 통한 첨단농업 분야의 과학기술 역량 제고가 필요함(이용범 등, 2020, 시설재배 글로벌 융복합 혁신센터 구축 기본계획 수립).
- 우리나라는 4계절이 뚜렷한 기후 조건으로 실험 결과가 계절마다 다르게 나올 수 있어 이에 대한 실증 평가가 이루어져야 함.
  - 우리 기업체들이 타국으로의 농기자재 수출과정에서 그 지역의 환경 특성에 맞는 원예시설과

재배 실증을 통해 성공적인 비즈니스를 위해서 적절한 세계기후 재현 가능 특수 연구시설이 필요함(이용범 등, 2020, 시설재배 글로벌 융복합 혁신센터 구축 기본계획 수립).

- 빅데이터로 인공지능에 학습할 경우 데이터 확보적인 측면에서 연구 R&D 시설이 필요함(장영주 등, 2019, 스마트팜 확산, 보급 사업 현황과 과제).
- 스마트 농업 정책 추진 주체 간 협업 활성화로 지자체와 기업과의 협력 경험을 확대하여 거버넌스를 구축하여야 하며, 지자체와 기업과의 협력을 통해 농업 빅데이터의 체계적 구축이 가능하도록 정부 차원의 통합 거버넌스 확립이 필요함.
- 스마트 농업 추진을 위한 법률 근거가 미비하므로 관련 법률을 제정하거나 관련 규정을 농업 관련 법률에 마련할 필요가 있음.
- ICT 융복합과 자동화 기술로 가시적인 농업기술 발전은 이를 수 있으며 이를 통해 소득을 안정화시키고, 농촌지역의 지속 가능한 발전을 이루는 것이 제 4차 산업혁명 시대의 농업 혁신 방향이 되어야 함.
- 에너지 저감형 스마트팜 및 융복합기술을 전략적으로 구현할 수 있는 기술개발 인프라를 확대하여야 하며 특히, 농업의 지속가능성을 담보할 수 있는 기술인 농생명 에너지 자원 부분이 다른 분야보다 낮은 수준이므로 이에 대한 개선방안을 마련하여야 함.

## 나. 국외 도심형 스마트팜 R&D 현황

### □ 미국

- 식물공장의 기원은 1957년 덴마크에서 태양광 이용형 새싹채소 온실에서 시작되었으며, 1960~70년대 미국에서 우주 농업 형태의 식물공장이 연구되었음.
  - 제너럴일렉트릭사, 제너럴밀즈사 등 기업 중심 인공광 식물공장사업이 시도되었으나 실용화로 진행되지는 못함(Alsanius et al., 2019).
- 2000년대 미국 화이트팜사에서 심야 전력을 이용한 허브류 생산에 식물공장생산시스템을 활용하였고 2013년, 미국 시카고 소재 팜드히어사에서도 식물공장에서 마질 등의 허브류를 생산하여 인근 지역에 공급하는 사업을 수행하고 있음(Zaharia et al., 2019).
- 미국은 농무부(U.S Department of Agriculture)를 중심으로 농업 IT 융합 R&D 정책을 추진 중이며, 장기적이고 위험도가 높은 고비용의 기반 기술개발에 주력하고 있음(Golubkina et al., 2018).
- 최근 신선 채소의 최대 생산지인 캘리포니아주의 가뭄으로 인한 물 부족이 심화 되면서 인공광형 식물공장에 대한 관심이 증가하고 있으며 고층 빌딩형 도시농업 식물공장 위주의 연구개발도 진행되고 있음.
- 이식 생산을 위해 PFAL을 사용하여 접목된 토마토 묘목을 생산하는 회사에서 다른 식물 종의 이식 생산을 위한 PFAL의 적용은 천천히 실험되었으며 펜실베이니아의 한 회사는 온실에서 성장하고 마무리할 다양한 요리용 허브의 어린 식물을 생산하기 위해 PFAL을 구축함.
  - PFAL과 온실의 이러한 조합은 매우 성공적인 것으로 보이며 앞으로 더 다양한 채소 및 관상용종에 대한 적용이 예상됨(Takagaki et al., 2019).
- 설비에 관해서는 LED 램프를 각 층에 설치하는 다층 생산 시스템을 활용하는 경우가 많으며

- 층간 거리는 일본 및 기타 아시아 국가에서 흔히 볼 수 있는 것과 비교하여 상대적으로 높음.
- 낮은 공간 사용 또는 에너지에도 불구하고 주로 물류(식물에 대한 접근성)와 식물 주변의 공기 순환을 보장하는 것을 고려함.
  - 사용 효율성. 수경재배 시스템(NFT 또는 영양액 재순환 시스템이 있는 얇은 수경재배)이 일반적이며 일부 NFT 채널은 공간 사용을 향상시키기 위해 수직 방향으로 사용하도록 설계됨 (Pardossi et al., 2017).
- 많은 PFAL은 새 건물을 짓는 대신 용도가 변경된 창고를 사용하며 CO<sub>2</sub> 농축은 컨테이너식 성장실에서 일반적인 관행이지만, 대규모 창고 건물을 사용할 때는 일반적인 관행이 아님.
- 이러한 건물에는 인간의 건강을 보장하기 위해 환기가 최소화된 공기 처리 시스템이 있는 경우가 많으며 재배 공간은 종종 이식, 수확, 양액 혼합 등과 같은 활동에 종사하는 CO<sub>2</sub> 배출 작업자와 공유됨.
  - 결과적으로 CO<sub>2</sub> 성장 시설 내부의 농도는 일화적으로 우리가 진정으로 격리된 환경에서 경험할 수 있는 문제가 되는 낮은 수준이 아님(Santini et al., 2021).
- 습도 관리 문제는 오래된 조명 기술과 비교하여 생산 시스템의 냉각 요구량을 낮추는 효율적인 LED 조명의 도입과 함께 문제가 되었음.
- 고효율 LED를 사용하여 재배자는 낮 동안 높은 상대 습도(때로는 90% 이상)를 경험했으며 곰팡이 질병 발생을 피하기 위해 60%~70% 상대 습도를 달성하기 위해 제습을 위해 추가 전력을 사용해야 했음.
  - CO<sub>2</sub> 비용은 전기보다 훨씬 저렴하기 때문에(동일한 양의 생산량 증가를 달성하기 위해) 최소한 저비용 기술혁신이 가능해질 때까지 CO<sub>2</sub> 사용 효율성을 최대화하는 것보다 습기를 방출하기 위해 최소한의 환기를 고려하는 것이 가치가 있어 이에 관한 연구가 진행 중임(Yano et al., 2021).
- 현재까지 대부분의 식물공장이 엽채류 위주의 생산에 초점을 맞췄던 반면, 미국 텍사스에 소재한 칼리버바이오테라퓨틱스사의 경우 13,935m<sup>2</sup> 규모의 대규모 식물공장 설비에서 약 220만 개체의 유전자변형 담배를 재배하여 의료용 재조합 단백질 생산에 이용하는 사업을 진행 중임 (Sabeh et al., 2019).
- 식물 백신 생산을 위한 식물공장 중심으로 전개되고 있으며, 우주 공간에서의 식량 공급을 위한 우주 농업도 추진 중임(E. Parece et al., 2017).
- 미국은 융복합 병해충 및 질병 진단기술, 로봇 활용 분야, 농산물생산단계 안전성 조사 및 품질 관리기술 분야도 선도하고 있음(Bricas et al., 2019).
- 미국은 넓은 토지를 활용한 농업이 특징으로, 스마트팜도 대규모 경작지를 효율적으로 관리할 수 있는 농업 로봇 개발에 집중하고 있음.
- ‘로봇공학 이니셔티브 농업 연구·개발(R&D) 프로그램’을 통해 농업 로봇 플랫폼 개발, ‘로봇-인간’ 및 ‘로봇-환경’ 인터페이스 핵심 기술개발을 추진하고 있음(이용범 등, 2020, 시설재배 글로벌 융복합 혁신센터 구축 기본계획 수립).
- 실리콘밸리의 첨단 ICT기술을 접목하여 생육 환경이 센서를 통해 자동 모니터링되고, 무인 농업로봇(드론)을 개발하여 농사에 활용함(장영주 등, 2019, 스마트팜 확산, 보급 사업 현황과 과제, 국회입법조사처).

- 미국 정부의 정책적인 지원과 더불어 글로벌 기업들은 통합솔루션을 제시하고 있으며, 구글(Google)과 마이크로소프트(Microsoft)는 'Farm 2050플랜'을 통하여 미래농업에 투자하고 있음(Barman et al., 2020).
- 존디어, 에이지씨오 등 글로벌 기업들이 토털솔루션을 제공하고 있고, GPS가이던스 자동 조향 등 기술이 농가에 활발히 활용되고 있음.
  - 대표적인 ICT 기업인 구글의 경우 농업에 대한 빅데이터를 수집해 종자, 비료, 농약 살포에 도움을 주는 인공지능 의사 결정 지원시스템 기술개발을 추진 중임(Barman et al., 2020).

#### □ EU

- 유럽연합(EU)의 농업성장전략은 최소투입 최대산출을 핵심 가치로 생산성 중심 농업에서 지속가능성 중심 농업으로의 강력한 전환을 강조하고 있으며, 스마트농업은 농업 혁신을 위한 전환방안 중의 하나임(이용범 등, 2020, 시설재배 글로벌 융복합 혁신센터 구축 기본계획 수립).
- EU 스마트농업 혁신정책은 최소투입 최대산출의 최적화 농업으로의 전환을, 기술적으로는 정보통신기술, 디지털 데이터, 로봇 등 비농업 영역 기술의 도입을, 방법론적으로는 경계와 영역을 넘는 다양한 주체 간의 개방형 협력 및 혁신을 근간으로 하고 있음.
- 유럽혁신파트너십(EIP; European Innovation Partnership)이 도입되었으며, 5개 영역 중 농업과 관련해서는 '농업의 지속가능성 및 생산성에 관한 유럽혁신파트너십(EIP-AGRI; EIP on the Agricultural Sustainability and Productivity. 2012년 발족)'이 조직되었음(Castrignano et al., 2020).
- EIP-AGRI는 다른 부문에 비해 상대적으로 취약했던 연구(research, laboratory)와 현장(practice, field)의 연계를 강화하여 사회·경제·환경적 편익을 극대화하고 빠른 확산을 촉진하고자 하는 것이 목적임.
- 이를 위해 선형적 혁신모델(linear innovation model)을 지양하고, 상호학습을 통한 혁신모델(interactive innovation model)을 적극적으로 도입함과 동시에 농업인, 농업인단체, 농산업체 등과 같은 현장 주체들의 참여를 크게 강조하고 있음(Castrignano et al., 2020).
- 유럽연합(EU) 국가들의 스마트팜 추진 정책을 보면, 미국과 같이 대규모 노지 농업에 적용할 정밀농업 기술과 시설원예, 축산 등 시설농업 분야 스마트팜 기술개발이 동시에 이뤄지고 있음(Daviron et al., 2019).
- 곡물 및 축산 분야 정밀농업을 실현할 농업 로봇 및 농장관리 시스템을 개발하고 있는 'ICT-Agri' 프로젝트, 스마트팜의 경영과 운영관리, 물류 등을 지원하기 위한 'Smart Agri-Fod' 프로젝트 등이 대표적이며, ETSI에 매년 운영예산의 약 20%를 지원하고 있고, 매년 ICT 표준화 로드맵을 기획·발표하여 R&D 정책을 운영함(Castrignano et al., 2020).

#### □ 네덜란드

- 네덜란드의 식물공장 재배 면적은 1975년에 이미 4,700ha로 2008년 수준을 나타내고 있으며, 생산량의 증가는 물론, 대규모화, 공장의 고도화 등이 이미 달성되어 체계적 시스템에서 생산이 이루어지고 있음(김인수 등, 2019, 저비용, 고효율을 위한 재배 베드 시스템, 공조시스템, 인공광원 시스템, 센싱 시스템의 표준화 기술개발).

- 네덜란드는 세계 제2의 농업 수출 국가로 축산물과 화훼가 농업 총생산의 74%를 차지하는데, 시설원예와 시설 축산은 세계 최고 수준의 기술을 보유하고 있으며 이를 수출하고 있음(장영주 등, 2019, 스마트팜 확산, 보급 사업 현황과 과제).
- ‘농업 정밀화를 위한 민관 파트너십형 R&D 프로젝트’로 위성 관측, 지상 센서, 작물관리, 수확 기술 등 스마트 농업 구현을 위한 연구를 추진하고 있으며, 주요 과제로 물, 비료, 농약, 에너지 등 자원사용량을 억제하고 농업으로 인한 환경 영향을 감소 등을 제시하였음.
- 네덜란드는 대부분의 온실이 유리온실인 덕에 새로운 농업 시스템을 쉽게 적용하고 최신 설비를 유지할 수 있었으며, 프리마와 같은 네덜란드 기업은 전 세계 1위 수준의 온실 환경제어 시스템을 개발해 세계 각국으로 수출해 큰 수익을 창출하고 있음.
- 최근 타 분야의 신기술을 식물공장에 적용할 수 있는 환경을 만들고, 보조금 지급 및 세금 할인 정책, 기술 표준화를 중점적으로 시행하고 있음.
- 네덜란드는 온실용 환경제어기술의 높은 완성도를 바탕으로 완전제어형 친환경 식물공장 상용화 분야와 친환경 동물복지형 축사 분야 기술을 선도하고 있음(장영주 등, 2019, 스마트팜 확산, 보급 사업 현황과 과제).
- 1990년 이전까지는 생산성을 중심으로 발전해왔으나, 이후 에너지와 노동력 투입을 줄이는 지속가능성에 초점을 두고 화석 에너지 사용, 온실가스 배출, 용수와 토지 사용을 줄이는 기술개발이 이루어지고 있는 실정임.
- 이를 위해 ‘과학기술 농업’을 표방하고 정부 주도 아래 농업에 ICT 기술을 접목, 생육 환경을 정밀하게 조절하는 자동화 기술을 개발하고 시스템을 구축하였음.
  - 그 결과 현재 네덜란드 농업은 95%가 과학기술이고 5%가 노동력이라고 할 수준으로 첨단화되었고, ICT와 로봇공학을 적극적으로 농업 경영에 도입하여 농업 비즈니스의 부가가치를 높이기 위해 ICT 기술융합을 꾀하고 있음(장영주 등, 2019, 스마트팜 확산, 보급 사업 현황과 과제).
- 네덜란드의 농업 ICT 융합 R&D의 대표적인 사례로 꼽히는 것이 정밀화 사업(Programma Precisie Lanbouw, 이하 PPL)이며 2010년 1월부터 4년에 걸쳐 민·관 공동 출자에 기반해 친환경농업기술 개발을 위한 ‘정밀농업(Precision Farming)’ 프로젝트를 추진함.

#### □ 일본

- 아시아 권역의 식물공장 기술개발 및 사업 추진은 일본이 선도적으로 수행해왔으며, 1974년 히타치제작소 중앙연구소에서 수행한 식물공장 기반 식물 최적 재배환경 조성 연구를 시작으로, 2009년부터는 일본 정부의 지원 하에 약 50개소의 상업적 식물공장이 운영되고 있음.
- 최근 일본에서도 식물공장 수익 창출을 위해 고부가가치 약용식물 재배를 통한 제약원료 생산 목적의 기초연구로 방향 전환을 하고 있음.
- 일본 미츠비시케미칼 사의 경우 2010년부터 감초 등의 한약재 원료 생산을 위한 LED 조명 구성과 재배법 확립을 위한 기술개발에 착수하였으며, 경제산업성의 지원으로 분자농업 관련 GMO 작물을 밀폐된 식물공장에서 재배하여 애완건 구내염 치료제를 세계 최초로 상용화하고 있는 등 적극적인 투자가 이루어지고 있음(김인수 등, 2019, 저비용, 고효율을 위한 재배 베드 시스템, 공조시스템, 인공광원 시스템, 센싱 시스템의 표준화 기술개발).

- 농기계 제조업체, IT 서비스 기업 등 민간기업이 스마트농업 제품 및 서비스를 개발하여 사업화하고 있음.
- 쿠보타, 안마, 이세키농기 등 일본 농기계 제조업체들은 스마트 농기계(트랙터, 헬기, 이앙기 등) 개발을 촉진 중이며, 후지쯔, NEC, IBM, NTT 등 대기업들이 농업 분야에 정보통신기술(ICT)을 접목한 서비스를 제공하고 있고, 베지드림(VEGi-Dream), 도시바, 샤프, 일본전기주식회사(NEC), NTT 등 기업들은 스마트농업 및 식물공장 사업을 추진 중임.
- 인공광 식물공장의 비중이 유럽에 비해 높으며, 전력, 식품, 유통회사 등 기업에서 여러 형태의 식물공장이 운영 중임(Akiyama et al., 2016).
- 일본은 식물공장 산업을 2008년 글로벌 금융위기 이후에 미래 신성장동력산업으로 육성하고 있고 농림수산성에서는 식물공장 건설사업자에게 보조금을 지원하고 있으며, 경제산업성에서는 식물공장 관련 기술개발에 대한 보조금을 지원하는 정책을 추진 중임.
- 특히 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 되었고, 무엇보다 원전 사고에 의한 오염지역에 식물공장을 건설·운영하는 것을 지역의 부흥 수단으로 인식하고 있음(박종석 등, 2016, 식물공장 중장기 정책 수립 방안 연구).
- 지자체와 연계한 장애인, 노인 일자리 창출 목적으로도 식물공장 사업을 추진하는 사례도 증가하는 추세임(김연중 등, 2013, 식물공장의 전망과 정책 과제).
- 표 8은 국내외 식물공장의 전반적인 특징을 비교하였으며 다음과 같음.

표 8. 국내외 식물공장 특징 비교(김연중 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

□ 중국

- 중국 정부는 경지 면적의 지속적인 감소와 토질 악화, 농약의 과다 사용, 전통 농업의 효율성

문제, 농민 노동력 감소, 농업인구 고령화 등에 대한 해결방안으로 스마트농업을 지속 추진할 것으로 전망되고 있음.

- 중국 정부는 2016년 연속 1호 문건을 통해 농촌경제 활성화를 중점 과제로 부각하여 ‘스마트농업’ 활성화 정책을 추진하고 있으며 도시로 입구 밀집에 따른 식량 공급난 해소를 위해 식물공장 산업화를 추진하여 중장기 R&D 프로젝트를 국가연구기관을 중심으로 시행 중임(장영주 등, 2019, 스마트팜 확산, 보급 사업 현황과 과제).
- 2015년 ‘인터넷 플러스’ 정책과 2016년 ‘전국농업현대화계획(全国农业现代化规划)(2016-2020년)’을 발표, 농업 현대화의 일환으로 스마트농업을 강조하였음.
- 리커창 총리는 2018년 3월 업무보고 중 ‘농업 분야에서 공급 분야 개혁을 위해 인터넷 농업을 적극 추진할 것’이라고 밝힘(장영주 등, 2019, 스마트팜 확산, 보급 사업 현황과 과제).
- 농업의 스마트화, 디지털화 관련 기술을 개발하고 국영농장에 선진 시스템을 적용하면서 중국 현실에 맞는 시스템으로 개발 중이며, 원천기술 개발과 더불어 태양광 이용형 및 인공광 이용형 식물공장에 대한 통합 실증까지 연계하여 추진 중임(Li et al., 2018).
- 중국 스마트 농업시장 규모는 2015년 이후 연평균 14.3% 성장, 2020년에 268억 달러 규모에 이를 것으로 예상되고 있음(장영주 등, 2019, 스마트팜 확산, 보급 사업 현황과 과제).
- 중국 정부의 정책지원에 힘입어 스마트팜 관련 특허가 2015년 기준 1만 6천건으로 미국의 4배이고, 인공지능 기업은 670개 사(세계 11.2%)에 달하는 등 규모 면에서 성장하고 있음.
- 알리바바, 징둥, 텐센트 등 주력 대기업들을 중심으로 농업, 축산업 관련 솔루션을 개발하여 농기업 및 지방정부에 광범위하게 보급하고 있음(장영주 등, 2019, 스마트팜 확산, 보급 사업 현황과 과제).
- 인텔리전트 식물공장 생산 기술개발 프로젝트(National high science & technology project)가 진행 중으로 Chinese Academy of Agricultural Sciences가 주관하고 15개의 대학, 연구기관, 기업이 참여함(’13~’17년, 5,000만 위안(약 85억 원) 투자)(박종석 등, 2016, 식물공장 중장기 정책 수립 방안 연구).
- 알리윈(阿里云)의 ET 농업브레인(ET Agricultural Brain) 프로젝트, 징둥(京东)의 농축산업 유통과 연계한 솔루션 확대, 후위윈신시(广西慧云信息)의 ‘스마트 과일농장’, 산둥성 임읍현(临邑县)임난진(临南镇)의 스마트농업산업원(山东临邑临南镇智慧农业产业园) ‘슈퍼온실’ 프로젝트 등이 있음(이용범 등, 2020, 시설재배 글로벌 융복합 혁신센터 구축 기본계획 수립).
- 중국의 북경홍푸국제농업유한회사(Beijing Hongfu International Agriculture Ltd.)는 대표적인 유전 산지로 알려진 다칭(Daqing) 지역에 첨단 농복합산업단지(Daqing Hongfu Modern Technology Industry) 프로젝트를 추진(그림 25)하고 있음(Huang et al., 2019).
- 이 사업의 추진 목표는 정보통신기술(ICT)이 결합된 최첨단 농업기술을 기반으로 농업뿐만 아니라 문화와 과학, 여가, 비즈니스 및 의료산업을 결합한 중국 최대 규모의 농복합 테마 단지를 건설하는 것으로 총 660ha 규모로 약 22억 6350만 달러 투자 유치를 목표로 하였음.



그림 25. 베이징홍푸국제농업 주식회사

#### □ 태국

- 태국의 PFAL에 대한 R&D는 2000년대 초 에어컨이 장착된 반폐쇄 건물에서 인공조명으로 보완된 수경 재배시스템에서 약초와 잎이 많은 채소 생산으로 시작되었음.
- 초기에는 태국 기후에서 일반적으로 야외에서 재배할 수 없는 열대/아열대 종과 온대 종, 두 가지 유형의 작물에 대해 통제된 환경에 대한 식물의 반응을 이해하기 위한 기초연구가 수행되었고 2015년부터 PFAL은 유명해지고 대중화되었음.
- 정부 및 국가 자금 지원 기관은 PFAL에 대한 연구 연구에 자금을 지원하기 시작하여 여러 대학과 연구기관에서 기본 및 응용 모두에서 PFAL의 식물 생산에 대한 연구를 수행했으며 PFAL용 광원, 센서, 제어 시스템, 데이터베이스 서비스, 모바일 애플리케이션, 절연체 및 냉각 시스템을 위한 혁신적인 기술도 개발되었음(Kozai et al, 2019).
- 마히돌대학 과학 학부의 PFAL 프로젝트는 2002년에 시작되어 미니 PFAL 모델 "플랜토피아"는 Thailand Innovation Awards에서 2위를 수상한 후(Fongsirikul and Supaibulwatana, 2003) 연구는 주로 약용 식물의 성장과 대사체에 대한 인공 환경의 영향을 이해하는 데 중점을 두었음.
- 특히, 생리학적 및 형태학적 반응, 성장, 특히 생리 활성 화합물에 대한 공중 및 근권 환경(예: 광 스펙트럼, 광도, 광주기, CO<sub>2</sub> 농도, 영양소 등)의 영향이 여러 종에서 조사되었고(Supaibulwatana et al., 2011) 이러한 연구 중 일부는 일본 치바 대학과 공동으로 수행되었음(Maneejantra et al., 2016; Joshi et al., 2017).
- 마히돌대학 칸차나부리 캠퍼스에서는 2005년 수경 재배 방식으로 고부가가치 잎 채소를 재배하

는 또 다른 PFAL 프로젝트를 시작하여 2016년에는 여러 스타트업 기업이 태국 4.0 프로젝트와 마히돌대학교는 공동 팀을 구성하여 PFAL에 대한 재배 시스템, 조명 시스템, 제어 시스템, 양분 공급 일정 및 클라우드 기반 응용 프로그램에 대한 연구를 수행함.

- 2018년에 마히돌대학교와 치바대학교는 MU-CU PFAL 연구 및 훈련 센터를 설립하였고 이 공동 장치의 주요 목적은 산업적 규모로 고부가가치 잎채소 및 약초를 생산하기 위한 PFAL, 선적 컨테이너 및 이동식 PFAL의 파일럿 모델을 구축하는 것임.
- 마에조대학교는 태국 북부의 주요 농업 기관 중 하나로, PFAL 연구는 2012년 아메리씨드인터네셔널 주식회사와 협력하여 고원지대에서 겨울에 1년에 한 번만 효율적으로 생산할 수 있는 태국의 피튜니아 종자 생산 한계를 줄이기 위해 시작되었음(Sakhonwasee et al. , 2017; Phansurin et al., 2017).
- PFAL의 조명 매개변수, 영양 용액, CO<sub>2</sub> 농도 및 공기 순환을 최적화하여 4개월의 한 수확 기간 동안 m<sup>2</sup>당 50,000개의 고품질 종자를 생산할 수 있는 능력으로 연중 생산을 성공적으로 달성했으며 또한 PFAL을 사용하여 피튜니아 및 기타 화훼 작물의 육종 프로그램을 가속화할 계획 중에 있음.
- 카셋사트대학교도 기초 연구에서 PFAL의 원리를 사용하여 2018년에는 인공지능 접근 방식을 사용한 식물 표현형 연구를 촉진하기 위해 카셋사트대학교 찰렘프라키앗 사콘 나콘 캠퍼스 공학부에서 미니 PFAL과 선적 컨테이너 유형 PFAL을 개발함.
- KMUTT(King Mongkut's University of Technology Thonburi) 공학부는 2015년 가정용 PFAL의 시스템 설계에 대한 PFAL 프로젝트를 시작하여 2016년에는 건물 내 단열실에 설치된 수경재배 시스템으로 딸기를 재배했고 2018년에는 NSTDA의 재정 지원으로 KMUTT의 생물 자원 및 기술 학교는 태국 약초의 새싹 생산과 관련된 PFAL 프로젝트를 시작함.
- 비오텍(NSTDA 산하)은 치바 대학과 협력하여 정부가 자금을 지원하는 지속 가능한 농업을 위한 혁신 프로그램에 따라 프로토타입 PFAL을 개발하는 프로젝트를 시작하였으며 규격은 다음과 같음.
  - 생산 면적 690m<sup>2</sup>(4열 4단 1.2m 너비 36m)의 생산 유닛과 생산 영역이 225m<sup>2</sup>인 3개의 연구 유닛으로 구성되며, 총 바닥 면적은 600m<sup>2</sup>이고, 4개의 수경재배 시스템에는 제어된 환경에서 조정 가능한 광도 및 스펙트럼의 LED 조명이 장착되어 있으며 자동 이식 로봇 및 이식 생산, 수확, 추출 및 생리 활성 화합물 검출을 위한 방과 같은 기타 시설도 사용할 수 있음.
- 비오텍은 또한 지역 약초 생산에서 약초 생산 및 기술 이전을 위한 모델형 커뮤니티 규모 PFAL을 구축하였으며 세부 내용은 다음과 같음.
  - 컨테이너형 PFAL은 연 면적 56m<sup>2</sup>, 8단 생산 선반(폭 1.2m, 길이 6.0m, 높이 5.4m)과 LED 조명을 갖추고 있음.
  - 이 모델은 정부와 민간 부문의 협력을 통해 약초 생산을 위한 상업적 규모로 나콘 파놈 지방에서 처음으로 구현되었으며 자금 지원 기관으로서 NSTDA는 KMUTT 및 KU 캄팽션 캠퍼스의 두 연구 클러스터 및 프로그램을 재정적으로 지원 중임.
  - 공중 보건부 산하 정부 제약 조직은 1100m<sup>2</sup>의 바닥 면적을 가진 건물의 폐쇄형 PFAL에서 대마초 재배를 계획 중임마초 재배를 계획 중임

- 태국의 PFAL 추세에 따르면 10개 이상의 중소기업이 PFAL을 사용하여 식물 생산 및 생산 효율성을 높이고 잔류 농약과 예측할 수 없는 기후 변화를 방지함.
- PFAL에서 재배되는 가장 인기 있는 작물은 건강기능식품 물질을 함유한 잎이 많은 채소와 허브이며 몇몇 회사는 전 세계 국가로 수출하기 위해 고품질의 민족 채소를 생산하기 위해 PFAL을 사용할 것으로 예상됨.
- 그로우랩 아그리테크 주식회사는 2010년에 사업을 시작하여 필요한 수준의 humulone alpha acid와 lupulone beta acid를 제공하는 특별히 설계된 LED 조명 시스템에서 실내 홉을 생산함.
- 아그로인텔리전트 주식회사(AI)에서는 "식물 공장"과 "스마트 농업"과 "연구 개발"이라는 두 가지 주요 사업을 가지고 있으며 목표는 다음과 같음.
  - 첫 번째와 관련하여 AI는 건설 및 제어 시스템을 중심으로 식물 공장"과 "스마트 농업"을 위한 새로운 혁신을 창출하는 것을 목표로 하며 주문형 건설 설계, 조명 및 제어 시스템은 일본 한모 주식회사와 협력하여 진행되고 있음.
  - 연구 개발 사업은 마히들대학교, 국가혁신청, 태국연구기금, 한모 주식회사 및 네꼬야 주식회사와의 협력을 포함함.
- AI는 교육 기능을 포함하여 도시 지역에 거주하는 거주자를 위한 온도, 빛, CO<sub>2</sub> 농도 및 양액과 같은 식물 성장을 위한 완전히 통제된 환경을 갖춘 GROBOT 모델인 여러 가정용 PFAL을 개발하였음.
- 이 모델은 내장된 데이터 로거를 통해 인터넷을 통해 연결 및 제어할 수 있으며, GROBOT X는 인터넷을 통해 스마트 기기를 통해 제어되는 터치스크린 패널용 IoT 기반 디자인으로 일본 한모 주식회사와 공동으로 진행 중임.
- 장마로 인해 고품질 유기농 채소를 연중 야외에서 생산이 불가하여 왕그리 리조트에서 민간 기업인 나콘 나옥은 잎이 많은 채소를 재배하기 위해 2018년에 바닥 면적이 100m<sup>2</sup>인 PFAL을 건설했으며 동일한 채소와 다른 잎이 많은 수입 채소를 훨씬 짧은 생산 시간으로 성공적으로 재배할 수 있음.

#### 다. 도심형 스마트팜 R&D 시사점

- 농업의 스마트화는 지속 가능한 농업 혁신방안의 하나로 각국의 농업 환경과 구조, 전략 품목에 따라 추진되고 있는데, 기업형 농업 또는 정보통신 민간기업, 식물공장 등 첨단기술에 관심 있는 대기업의 참여로 발전하고 있음(이용범 등, 2020, 시설재배 글로벌 융복합 혁신센터 구축 기본계획 수립).
- 국가별 농업 특성에 기반하여 기후 변화 대응, 에너지 절감, 노동력 대체, 환경 부하 감소, 생산성 향상 및 관련 기술 수출 등 농업 현장 문제 해결과 부가가치 제고를 위한 현장 수요를 반영하여 스마트팜 관련 ICT 융복합기술과 모델을 산업화하고 있음(이용범 등, 2020, 시설재배 글로벌 융복합 혁신센터 구축 기본계획 수립).

- 2016년까지 스마트 기술의 보급 확산에 가장 큰 장애 요인으로 지적되어온 농업용 ICT 기기 및 부품 25종(센서 13종, 제어기 9종, 복합장비 3종)의 규격 표준화를 완료하였고(국립농업과학원), 관련 산업과 기술의 안정적 성장기반 구축과 수출산업으로 발전하기 위한 기반을 마련하고자 기존 완료된 단체표준의 국가표준 및 국제표준화를 추진 중에 있음.
- 농촌진흥청은 '14년부터 토마토, 국화 등 시설작물의 생육모델 개발을 추진하였고, '16년에는 유럽계 완숙토마토의 생육 및 수확량 예측을 위한 생육모델 개발을 완료하였음. 이후에도 파프리카, 딸기, 시설포도, 느타리버섯, 시설과수, 등의 생육모델 개발을 추진하였음.

□ 국내의 기술 및 시설 경쟁력 확보

- 대규모 농업생산기반이 조성되어있는 미국, 네덜란드 등의 생산 시설, 첨단기술들을 소규모의 농업 생산기반과 노후화된 생산 시설이 많은 우리나라에 확산·보급하는 것은 부작용이 클 수 있으므로, 농업 구조 개선을 위한 생산기반 정비와 핵심기술의 수요 개발을 고려하여야 함.
- 정밀농업을 비롯한 농업의 스마트화 기술, 농업과의 ICT 융복합기술을 개발하고 보급할 때에는 해당 국가의 농업 정책, 농업 구조, 농업계의 수요 및 자연·기후·지역적 특성, 전략 농산물 등 우리나라와 다른 요인들을 고려할 필요가 있음(장영주 등, 2019, 스마트팜 확산, 보급 사업 현황과 과제)
- 농업 구조 개선을 위한 생산기반 정비에 대한 세부 추진 방향은 다음을 참고할 수 있음.
  - 농업기계화 효율성을 제고시킬 수 있도록 농지기반의 정비와 집단화 그리고 경영 규모의 확대가 이루어져야 함.
  - 자본·기술 집약형 농업을 정착시키기 위해 농가에 기술을 개발 보급하고, 필요한 기술인력을 양성하며, 장기적으로 경쟁력 있는 부문에 집중적인 투자를 확대해야 함.
  - 환경 보전과 식품 안정성에 대한 국민적 관심도가 날로 높아지고 있으므로 농업생산체제가 환경 훼손, 수질오염, 공기오염을 최소화시키는 방향으로 조정되어야 함.
- 농업 스마트화는 국가별로 기존 농업과의 ICT 융복합기술형, 스마트 온실 및 스마트축사와 같은 스마트팜형, 제조업과 같은 생산 형태인 식물공장형 등 발전 전략에 따라 적용되는 기술 수준과 첨단과학 분야가 다르므로 우리나라 농업 환경과 기술 수준에 맞추어 전략을 수립해야 함.
- 농업선진국 사례를 살펴보면, 다른 국가의 최첨단 기술을 도입하여 단시간에 농업 혁신을 이루는 것은 불가능한 일이며, 농업 내부적 혁신요구와 혁신기술을 접목할 수 있는 생산기반과 기술 활용 체계가 구축·운용되는 과정에서 농업의 스마트화가 달성될 수 있음을 알 수 있음.
- 세계적으로 시설원예 면적이 세계 1위인 중국은 정부의 적극적인 지원으로 스마트팜 관련 산업이 급성장하고 있으므로 우리나라 시설원예 경쟁력이 낮아지지 않도록 스마트팜 및 ICT 융복합 적용 품목의 선정에 신중을 기할 필요가 있음.

## 제3장 도심형 스마트팜 확산 및 운영 모델 개발

### 3.1. 도심형 스마트팜 정의 및 국내·외 활용사례

#### 가. 도심형 스마트팜 정의, 기술 구성 및 분류

##### □ 도심형 스마트팜(Urban Smart Farm) 정의

- 스마트 농업이란 경영비 절감, 생산성 품질 향상 및 노동력 절감 등을 위하여 「농업·농촌 및 식품 산업 기본법」 제3조 제1호에 따른 농업 분야에 정보통신 기술 등 첨단기술을 접목한 농업을 말함(스마트 농업 육성 및 지원에 관한 법률 제정(안), 2021).
- 스마트팜은 스마트 기술이 적용된 농장을 의미하지만, 시설원예 분야에서 지칭하는 스마트팜은 네트워크를 활용하여 온실 내 환경요인을 원격으로 모니터링하고, 필요 시 목적에 맞게 작물 재배환경을 효율적으로 조절함으로써 최적 생육 환경을 유지할 수 있는 스마트 온실을 의미함(손정익 등, 2021, 시설원예학).
- 도시농업이란 도시지역<sup>6)</sup>에 있는 토지, 건축물 또는 다양한 생활공간을 활용하여, 농작물을 경작 또는 재배하는 행위, 수목 또는 화초를 재배하는 행위, 곤충을 사육하는 행위를 말하며(도시농업의 육성 및 지원에 관한 법률, 2017), 도시농업은 5종류의 유형(주택활용형, 근린생활형, 도심형, 농장·공원형 및 학교 교육형)으로 구분함.
- 도심형 스마트팜은 도시지역에서 ICT 또는 IoT을 작물생산 시스템에 적용하여 재배환경을 최적으로 제어함으로써 생산을 공정화, 자동화하여 산물(농산물, 고부가가치 천연물 원료 등)을 계획하여 경영관리 할 수 있는 것으로 제안할 수 있음. 도심형 스마트팜으로 적용 가능한 유형으로는 수직농장, 인공광 이용형 식물공장 등이 있을 것임.
  - 수직농장은 열의 대류와 전도를 최대한 차폐한 시설 내에서 빛, 기온, 상대 습도, 이산화탄소, 기류, 무기영양 등의 작물 성장 환경을 생산 목적에 알맞게 최적으로 제어하고, 수직 방향으로 다단의 재배상에서 동시에 작물을 재배하며, 생산 공정을 자동화하여 작물을 연속적으로 계획 생산하는 식물 생산 시스템임(손정익 등, 2021, 시설원예학).
  - 인공광 이용형 식물공장의 개념은 Kozai(1995)에 의하여 제안된 것으로, 투입 물질 자원과 생산물 이외의 물질에 대해서는 닫혀 있으며, 주위 환경과의 사이에는 에너지의 교환이 제어 또는 억제된 것임. 구성 요소에는 단열이 되고 불투명한 차고 형태의 건물, 조명 장치(LEDs, 형광등 등)가 있는 다단식 재배용 선반, 히트펌프, CO<sub>2</sub> 공급장치, 양액 공급장치, 환경제어 장치로 구성되었음(손정익 등, 2015, 인공광 이용형 식물공장).
  - 도심형 스마트팜의 특징으로는 첨단 융·복합 산업이 결합 가능한 신산업의 형태로 도심 내 유휴 공간에 작물생산 시스템(예, 수직농장)을 도입하여 인공광 또는 태양광으로 신선 농산물, 고부가가치 천연물 원료 등을 생산하여 최단 유통경로<sup>7)</sup>로 소비자에게 제공함으로써 탄소배출을 줄일 수 있는 장점이 있음.

6) 인구와 산업이 밀집되어 있거나 밀집이 예상되어 그 지역에 대하여 체계적인 개발·정비·관리·보전 등이 필요한 지역

7) 농수산물도매시장에서 경매를 통한 관행의 유통시스템에서 농장에서 집 앞까지 직배송하는 시스템을 말하며, 물류의 이동 거리를 최대 20-30km 이내로 줄이는 유통방식

□ 도심형 스마트팜(Urban smart farm) 기술 구성

- 연구자들은 지속가능한 식량 생산과 수확량 증대, 물 사용량 절감, 작물별 최적화 영양소 공급 및 최적 광 노출 등을 통한 식품 가치 극대화 연구를 수행하여 왔음. 또한 농업이 21세기 도심형 스마트팜의 새로운 패러다임으로 전환하는데, 기술이 환경에 미치는 영향을 최소화하면서 빠르고 다양하게 발전하고 있으며, 현재까지 실용화된 도심형 스마트팜 기술은 다음과 같음(표 9).

표 9. 실용화된 도심형 스마트팜 관련 기술 구분(AI-Kodmany et al., 2018)

농사방법	주요 특징	주요 혜택	공통/응용 기술
Hydroponics	토양에 기반하고 성장매체로 물 사용	빠른 식물성장을 촉진하며, 토양과 관련된 재배 문제를 줄이거나(혹은 제거), 비료 및 살충제 사용 저감	컴퓨터 및 모니터링 시스템; 휴대폰, 랩톱 및 태블릿; 식량 재배 어플리케이션; 원격 제어 시스템 및
Aeroponics	수경재배(Hydroponics)의 변형으로 뿌리에 안개 혹은 영양용액을 뿌리는 것을 포함	수경재배 보다 더 적은 물 사용	소프트웨어(원거리 시스템); 자동 랙킹, 스택킹 시스템, 이동 벨트 및 고층 타워; 프로그래밍 가능한 LED 조명시스템; 재생가능 에너지 응용(태양전지판/풍력 터빈/지열 등); 폐루프 시스템, 혐기성 소화조, 프로그램 가능한 영양 시스템; 기후제어, HVAC 시스템; 물 재순환 및 재활용 시스템; 빗물 수집기; 해충 방제 시스템; 로봇.
Aquaponics	물고기 양식(Aquaculture)과 수경재배를 융합한 기술	식물과 물고기 공생관계로 수조에서 물고기를 키우고, 그물을 이용하여 수경으로 재배하는 시스템	

□ 도심형 스마트팜(Urban smart farm) 분류

- 신산업으로 도시민 등 농사 주체가 인공광으로 빌딩 구조에서 ICT 기술을 접목하여 농산물, 가공식품 등을 생산하는 것으로 정의할 수 있으며, 구성기술에는 시설농업보다 첨단화 및 자동화된 인식기술, 인공지능 및 자동화 기술 등이 있음.
- 급격한 기후 변화, 미세먼지 확산, 전통시장 유통체계 약화, 유통 단위 대형화, 물류비 증가, 농업의 세계화, 지하철 등 유희면적 확대 등은 농업에서 새로운 개념의 공간적 변화를 요구하는데, 도심형 스마트팜은 농업과 도시가 공간적으로 통합된 새로운 농업 개념임.
- 본 연구에서는 농업을 전통농업(Traditional farming), 시설농업(Greenhouse farming), 도심형스마트농업(도심형 스마트팜; urban smart farming)으로 분류하여(Urban crop solution, 2019), 도심형스마트농업(도심형 스마트팜)은 인공광, 환경제어 등 ICT가 접목된 빌딩, 컨테이너 및 돔 기반의 도시농업을 총칭하는데 다음과 같음(표 10).

표 10. 전통, 시설, 도심형 스마트농업의 구분(강대현 등, 2020, 도시형스마트농업모델 개발을 위한 자료조사 분석)

구분	전통농업	시설농업	도심형스마트농업(도심형 스마트팜)
작물 생육 일수(일)	70	40-50	21
m <sup>2</sup> 당 작물 수	18	25	25-300
작물 주기	season	season	365 days
물 사용량(ton/ha)	351	151	1.51
살충제/제조제	often	less often	never
위치	open field	open field	everywhere
수확 소요 기간	high	medium	low

- 식물공장, 스마트팜을 필두로 광범위한 범위에서 다양한 명칭으로 혼용되고 있으며, 도심형 스마트팜 관련 명칭은 다음과 같음(표 11).
- 세계적인 추세인 도심형 스마트팜은 도시에 집중되는 인구구조, 즉 도시민의 신선 농산물 수요 증가 및 농산물 생산이 소비자에게 더 가까이 다가가는 것을 의미함.

표 11. 도심형 스마트팜 관련 명칭의 구성 요소별 구분(강대현 등, 2020, 도시형스마트농업모델 개발을 위한 자료조사 분석)

	스마트팜				도시 농업	도심형 스마트팜			
	실내 농장	스마트팜	수직농장, 식물공장, 식물생산공장, 채소공장, 타워공장, 수직생산공장						
광원	자연광	○	○	○		-			
	인공광(LED/형광등/etc.)	-	-	-		○			
	자연광 병용	○	○	○		-			
재배 장소	농촌	노지	논	-	-	-	-		
			밭	○	○	○	-		
		시설	비닐하우스	-	-	-	○	-	
	도시	옥외	유리온실	○	○	○	-		
			텃밭	지붕	-	-	-	○	-
				구조물 상부, 기타	-	-	-	○	-
		옥내	빌딩	-	-	-	-	○	
			지하 공간	-	-	○	-	○	
			돔	-	-	-	-	○	
			터널, 기타	-	-	-	-	○	
재배 방법	HYDROPONICS		○	○	○	-	○		
	AEROPONICS		-	-	○	-	○		
	AQUAPONICS		○	○	○	-	○		
농사 주체	농업인		○	○	○	-	○		
	도시민		-	-	-	○	○		
	산업체(생산자단체 포함)		○	○	○	-	○		
생산물 분류	농산물(자가소비 포함)		○	○	○	○	○		
	가공식품		-	-	○	-	○		
	의약/기능성 원료		-	-	○	-	○		

## 나. 국내·외 도심형 스마트팜 기술 및 산업 관련 동향

### □ 국내 도심형 스마트팜 특허등록 현황

- '20년까지 국내 도심형 스마트팜 관련 특허등록은 3,493건인데, 특허등록은 '13년부터 연 300건, '17년부터 연 500건을 상회하고 있으며, 최근 10년 등록 건수가 3,480건으로 80% 구성임. 국내 도심형 스마트팜 상위 20기관의 특허등록은 384건으로 9개 대학 152건, 5개 출연연 79건, 5개 해외업체 117건, RDA 36건의 구성임(표 12).

표 12. 도심형 스마트팜 관련 국내 특허등록 추이(강대현 등, 2020, 도시형스마트농업모델 개발을 위한 자료조사 분석/현행화)

년도	'20	'19	'18	'17	'16	'15	'14	'13	'12	'11	합	비율
특허	437	426	450	453	326	304	334	358	265	127	3,480	80,0

### ○ RDA 특허등록

- 국내 특허등록 3,493건 중에서, 국가연구기관(농촌진흥청)은 36건으로 1.03%(최근 10년의 1.3%)를 차지하는데, 이 중에서 핵심 특허는 6-7건, 0.17% 수준임.
- 도심형 스마트팜의 핵심 요소 기술인 인공광 조명시스템 개발, 재배를 할 수 있는 공간적인 시스템, 특용작물의 재배기술, 약리 성분 증진 기술 등이 주요 특허의 내용임(표 13).

표 13. 도심형 스마트팜 관련 국내 RDA 특허등록 목록(강대현 등, 2020, 도시형스마트농업모델 개발을 위한 자료조사 분석)

출원번호	발명의 명칭	등록일자
1020100134188	식물공장 광원 및 이를 갖는 식물공장 조명 시스템	20120912
2020100007524	가정용 식물 공장	20130528
1020160148732	식물 재배장치	20180810
1020160148732	컨테이너를 이요한 식물 재배 장치	20121005
2020100002980	재배포트 치상장치	20130731
1020110050022	양액 공급 시스템	20141001
1020120131683	결주포트 제거유닛 및 이를 포함하는 재배포트 치상장치	20140313
1020120060752	배추 유래 광 과장 특이정 BrEXPA1 프로모터 및 이의 용도	20150402
1020130139245	다단식 이동 재배시스템	20131111
1020110050001	다단식 이동 재배시스템용 반출장치	20130617
1020110049994	콩 모자이크 바이러스 기반의 유전자 전달 벡터를 이용한 재조합 단백질 ~ 동정 방법	20180417
1020160128577	콩 모자이크 바이러스를 이용한 두 조오이 외래 유전자 동시발현용 유전자 전달 벡터	20170825
1020150156928	오이모자이크바이러스 RNA3 cDNA 재조합 구축물 및 이의 용도	20121108
1020100028377	Hac1 유전자 및 UPRE 서열을 함유하는 이중벡터 조성물로 형질 전환된 누에	20181121
1020170056357	해충 포획 트랩을 탑재한 이동식 흡충 장치	20120220
2020100002630	저질산 함유 엽채류 생산을 위한 수경재배방법	20190712
1020160127610	수경재배용 연결포트 및 이를 이용한 육묘방법	20140203
1020090115236	플러그묘 이식장치	20120525
1020120034844	가정용 채소재배장치(vegetables cultivation device for use of home)	20140221
1020150086777	뒤영벌 유충 유래 동맥경화 치료 또는 예방용 조성물	20160622
1020060054972	벤치 재배형 달기 수확 로봇 시스템	20071205
1020110050010	양액 공급장치(Apparatus for supply of culture-fluid)	20121207
1020100131424	상토 충전용 용기 공급장치 및 이를 이용한 용기 공급 방법	20120912

1020130072580	거치식 순환형 딸기 재배 시스템	20150416
1020170145902	봉독을 유효성분으로 포함하는 콕시들희증의 예방 또는 치료용 조성물	20190916
1020160101909	습식분쇄법 및 분무건조법을 이용한 갈색거저리 유충의 분말 제조 방법	20171206
1020120147623	산업용 인삼 수경재배 시스템	20140722
1020120129860	안토시아닌을 포함하는 함유용 조성물	20141103
1020150156454	Hac1 유전자 및 UPRE 서열을 함유하는 이중벡터조성물 또는 형질 전환된 세포	20171024
1020120129861	안토시아닌을 포함하는 항산화용 조성물	20140722
1020110132503	배양미가 포함된 양조재료 세트	20130617
1020100119954	복분자 추출물을 포함하는 나노 입방형 액정상 조성물 및 그 제조 방법	20130321
1020090136045	작물생육을 촉진하는 신규 락토바실러스 파라케피리 NAAS-1 균주	20121207
1020090016753	글루타치온 고발현 사카로마이세스 세레비지에 54-8 야생형 및 이의 용도	20120612
1020140154342	초록장님노린재 유인용 성페로몬 조성물 및 이의 용도	20170407
1020130100636	악취가스 농도에 따른 공기 공급방식 변환 퇴비화 시스템	20150402

□ 국외 도심형 스마트팜 특허등록 현황

○ 2020년 도심형 스마트팜 관련 주요 키워드에 대한 국외 특허등록은 414,730건으로, 이 중에서 미국, 유럽 및 PCT가 전체의 94.1%로 기술 독점적인 양상이며, 특히 가장 많이 사용되는 키워드인 Vertical Farm 96.1%, Plant Factory 86.4%를 차지함. 또한, 근래 부각 되는 키워드인 Urban Smart Farm의 경우 미국, 유럽 및 PCT가 99.8%로 절대적 구성비를 보임(표 14).

표 14. 도심형 스마트팜 관련 키워드별 국외 특허등록 추이(강대현 등, 2020, 도시형스마트농업모델 개발을 위한 자료조사 분석/현행화)

구분	명칭	Indoor Farm	Smart Farm	Vertical Production Factory	Tower Factory	Vegetable Factory	Plant Production Factory	Plant Factory	Vertical Farm	Urban Farm	Urban Smart Farm	합	구분비(%)
계		6,827	31,864	69,827	15,343	18,194	46,236	63,036	60,620	5,979	1,402	319,328	100
미국		4,501	23,587	47,756	9,792	10,513	27,969	35,437	42,848	4,065	1,132	207,600	65.0
유럽		608	1,707	9,688	1,720	2,535	6,657	8,496	5,563	476	43	37,493	11.7
PCT		1,447	6,215	10,542	2,420	3,806	9,141	10,608	9,851	1,247	224	55,501	17.4
일본		24	176	309	260	441	1,162	4,601	906	28	3	7,910	2.5
중국		221	58	1,487	1,068	874	1,221	3,559	956	144	0	9,588	3.0
기타		26	121	42	80	25	84	326	492	19	0	1215	0.4

□ 국외 도심형 스마트팜 연구 동향

- 2021년까지 도심형 스마트팜의 키워드 관련하여 출판논문은 총 387,896편임(최근 10년, 289,189편, 출판논문의 51%). 출판논문을 주요 키워드별로 분석하면 Plant Factory 26.8%, Plant Production Factory 19.7%, Urban Farm 16.2%, Vertical Farm 14.5% 순이며, Urban Smart Farm은 1% 구성비를 보임.
- 출판논문은 연구논문이 62.47%, 북 챗터 15.7%, 리뷰논문 5.9%, 학술발표 2.3% 순으로 상위 4개 부분이 86.6%임. 그리고 KCI 논문은 총 548편으로 최근 10년 동안 연평균 27.8편이 발표되었는데, Specific techniques(apparatus, equipment, materials) 57편, Garden crops Vegetables 46편, Applied physics 21편 등임(표 15).

표 15. 도심형 스마트팜 키워드별 출판 논문 추이(강대현 등, 2020, 도시형스마트농업모델 개발을 위한 자료조사 분석/현행화)

구분	명칭	Indoor Farm	Smart Farm	Vertical Production Factory	Tower Factory	Vegetable Factory	Plant Production Factory	Plant Factory	Vertical Farm	Urban Farm	Urban Smart Farm	합계	비율(%)
	계	25,205	15,176	26,879	9,844	18,076	73,268	100,157	54,285	61,349	3,630	387,869	100
연도별연구논문	2021	1,560	3,164	1,940	594	1,278	5,450	7,188	4,572	5,999	601	26,785	7.2
	2020	1,448	2,694	1,926	584	1,248	5,255	6,805	4,350	5,502	584	23,057	6.2
	2019	1,267	2,040	1,898	571	1,192	4,955	6,222	4,023	4,617	560	26,785	7.2
	2018	1,047	1,632	1,556	460	1,035	4,241	5,318	3,599	4,169	506	23,057	6.2
	2017	977	1,349	1,430	455	902	3,976	5,101	3,322	3,724	378	21,236	5.7
	2016	912	1,200	1,289	397	904	3,584	4,585	3,097	3,406	338	19,374	5.2
	2015	764	985	1,250	365	830	3,323	4,234	2,763	3,068	223	17,582	4.8
	2014	838	880	1,035	353	764	2,997	3,924	2,673	2,833	227	16,297	4.4
	2013	734	705	974	328	740	2,762	3,695	2,416	2,574	173	14,928	4.0
	2012	706	573	902	343	596	2,378	3,210	2,055	2,086	125	12,849	3.5
Article type	Review articles	1,255	1,235	1,381	493	1,304	4,378	4,941	2,852	3,943	440	21,782	5.9
	Research articles	10,061	8,679	16,333	4,615	9,073	43,336	59,969	39,263	40,559	1,945	231,888	62.7
	Encyclopedia	317	213	529	215	532	1,494	1,692	885	1,375	114	7,252	2.0
	Book chapters	2,045	1,965	5,858	2,655	3,987	13,036	15,811	6,042	6,645	569	58,044	15.7
	Conference abstracts	320	199	602	274	384	1,948	2,871	1,005	867	99	8,470	2.3
	Book reviews	93	79	51	59	142	479	894	132	1,197	19	3,126	0.8
	Case reports	10	3	6	1	3	10	14	11	18	1	76	0.0
	Conference info	38	16	92	35	87	277	428	161	246	8	1,380	0.4
	Correspondence	54	32	24	32	130	102	281	58	137	2	850	0.2
	Data articles	2	8	-	1	2	9	14	12	14	2	62	0.0
	Discussion	149	192	250	251	919	1,101	2,060	324	1,051	44	6,297	1.7
	Editorials	74	108	67	48	89	324	503	99	415	25	1,727	0.5
	Errata	3	1	3	2	1	6	10	14	15	1	55	0.0
	Eexaminations	2	-	2	-	1	2	4	3	5	3	19	0.0
	Mini reviews	29	32	54	17	42	153	196	63	128	-	714	0.2
	News	84	96	218	200	122	1,838	2,829	142	276	15	5,805	1.6
	Patent reports	4	6	12	11	19	18	34	53	1	-	158	0.0
	Practice guidelines	-	4	-	-	2	5	5	1	5	1	22	0.0
	Product reviews	2	18	115	93	30	463	744	49	6	-	1,520	0.4
	Short communications	410	376	395	167	351	1,140	2,126	1,158	987	34	7,020	1.9
Software publications	-	2	-	-	-	1	3	2	1	-	9	0.0	
Other	584	788	821	652	770	2,653	3,762	1,407	2,166	267	13,603	3.7	

□ 도심형 스마트팜 용어의 적용

- 국내에서 연구 관련 산업군은 일본과의 기술도입·유학·학술교류 등의 영향으로 식물공장(Plant Factory)을 많이 사용하였으나, 최근 세계특허등록 및 국제논문출판에서 급감하는 추세임.
- 북미에서 유리온실과 혼용하여 많이 사용하는 수직농장(Vertical Farm)은 최근 1년 국제논문출판에서 3순위나 구글 용어검색에서 급감하는 추세임.
- 도심형 스마트팜 용어를 최근 1년 추이 및 발전 가능성을 분석하여 적용한 결과, 최근 1년(%) 최대의 발전 가능성(세계특허등록·국제논문출판)에서 가장 높은 비율을 보였고, 최소의 전 부분에서 상대적으로 기술의 개발 및 침투가 용이한 것으로 분석되며, 법률(국가법령센터, 2019) 용어인 “도시농업”, “도시농업인”에 Smart(ICT)를 적용하였음(표 16).

표 16. 도심형 스마트팜 용어의 적용(강대현 등, 2020, 도심형스마트농업모델 개발을 위한 자료조사 분석)

구분	최대/최소 사용 순위			비고
	1순위	2순위	3순위	
세계특허등록	Vertical Production Factory	Vertical Farm	Plant Factory	
최근1년(%)*	Urban Smart Farm	Smart Farm	Indoor Farm	
최대	국제논문출판	Plant Production Factory	Urban Farm	기타, 네덜란드에서 사용하는 Urban Agriculture(UA)를 포함하면, UA는 최근 1년(%) 최대에서, 세계특허등록 5순위, 국제논문출판 3순위, 구글용어검색 4순위로 조사되었으나 노지 및 자연광이 포괄적으로 포함되어 있어 제외함.
	최근1년(%)*	Urban Smart Farm	Vertical Farm	
최소	구글용어검색	Plant Production Factory	Smart Farm	
	최근1년(%)*	Smart Farm	Urban Farm	
세계특허등록	Urban Smart Farm	Urban Farm	Indoor Farm	
최근1년(%)*	Vegetable Factory	Plant Factory	Vertical Production Factory	
최대	국제논문출판	Urban Smart Farm	Tower Factory	나 노지 및 자연광이 포괄적으로 포함되어 있어 제외함.
	최근1년(%)	Tower Factory	Plant Factory	
최소	구글용어검색	Urban Smart Farm	Vertical Production Factory	
	최근1년(%)*	Vertical Production Factory	Vegetable Factory	

\*: 각 항목(세계특허등록·국제논문출판·구글용어검색)별로 각 키워드의 최대·최소 건수 대비 각 키워드의 최근 1년 구성비(%)에 대한 순위로 세계특허등록·국제논문출판에서 최대는 기술포화상태를, 최소는 기술공백 상태를 나타내며, 구글 용어검색에서 최대는 해당 키워드로 검색대상건수가 많은 것을, 최소는 적은 것을 의미함. 그러나 모든 경우에서 해당 키워드가 용어의 정의에 정당성을 부여하지는 않음. \*\*: 국내 법률상 용어는 도시농업(Urban Farm)인데, “농촌진흥청”의 4차산업혁명, 스마트, ICT 개념을 적용하여 도시스마트농업(도심형 스마트팜: Urban Smart Farm)으로 칭함.

□ 국내 도심형 스마트팜 산업체 동향

- 2020년 기준으로 2,880억 원 규모의 내수시장에서 도심형 스마트팜 성장의 견인력 역할을 하는 셀러드 부분이 1,860억 원으로 2/3를 구성함. 셀러드 부분의 TOP 7 산업체는 연 매출 기준으로 내수시장의 45.4% 셀러드 부분의 68.8%를 차지함(농식품수출정보, KATI).
- 2020년 연 매출은 도심형 스마트팜인 팜에이트(주), 531억 원, 시설 중심의 성진영농 410억 원, (주)롯데푸드 99억 원, 산들목(주) 63억 원, (주)네떼 93억 원, 그린팜(주) 51억 원, (주)한경푸드 61억 원으로 조사되었음(그림 26).
- 대형유통업체를 주 납품처로 하는 셀러드 TOP 7의 법인 소재지는 5개 업체가 평택, 이천, 안성 등 수도권, 2개 업체는 대구, 성주 등 대구권으로 대도시 근접하고 있음. 그림 26은 현재 내수 셀러드 부분은 CAGR 14%로 안정적인 성장세를 유지하고 있으며 2028년 내수시장은 9,200억 원으로 2018년 대비 3.7배 증가할 것으로 전망하고 있음.

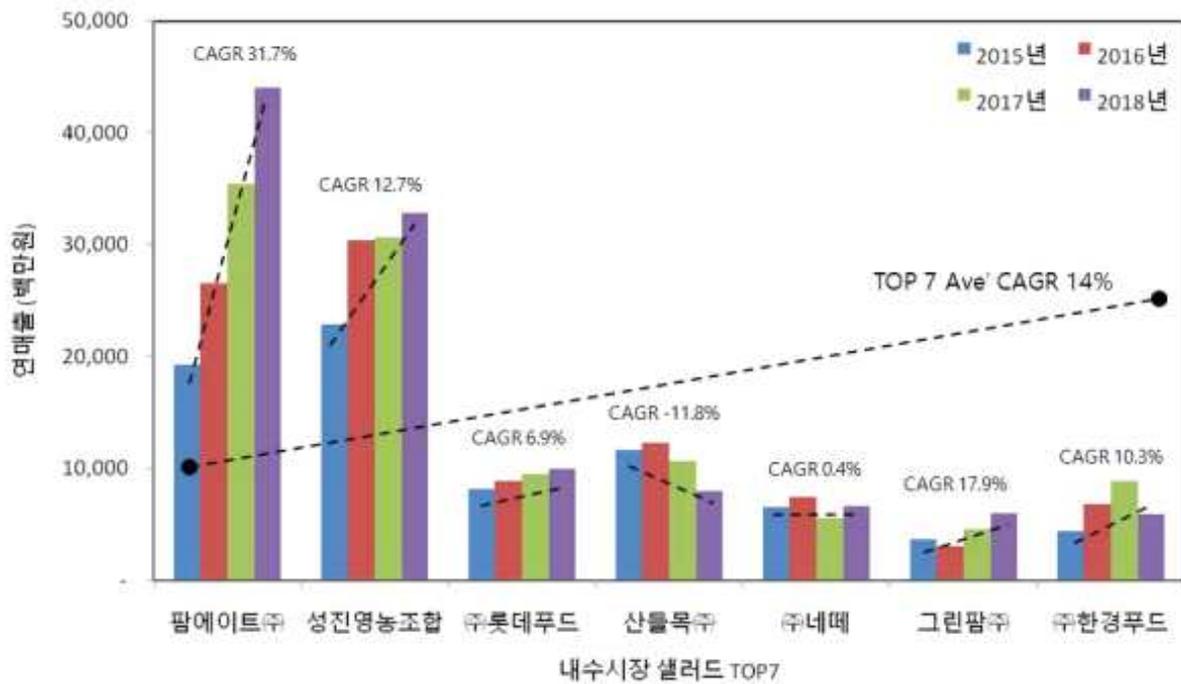


그림 26. 내수시장 셀러드 TOP 7 CAGR 분석(강대현 등, 2020, 도시형스마트농업모델 개발을 위한 자료조사 분석)

□ 국내 도심형 스마트팜 관련 산업체 규모

- 2020년 도심형 스마트팜 내수시장 규모는 2,880억으로 나타났으며, 그림 27은 시장점유율(MS) 상위 7업체에서 전체 시장 규모에서 45.4%를 차지하는 것으로 나타남.
- 기타 산업체의 연 매출은 850억 원 중에 (주)농업회사법인신금 90억 원, 만나씨에이(주) 85억 원, (주)디엠엘이디 37억 원, 기바인터내셔널(주) 35억 원 등이 대표적임. 기타 산업체는 대부분 R&D를 병행하고 있으며, 시장 상황에 따라 등락이 심한 편임. 또한, (주)위니아딤채, 농심엔지니어링(주), LG전자(주), (주)신성이엔지 등 대기업 군에서 사업 다변화 차원에서 연관사업을 추진 혹은 계획 중에 있음.

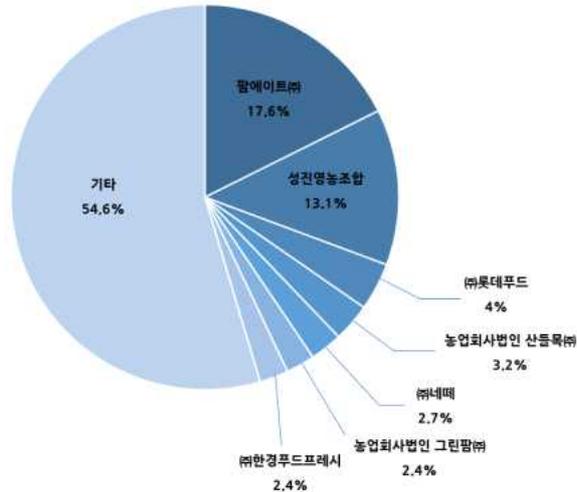


그림 27. '18년 국내 US 관련 산업체 군 중 상위 7업체 시장점유율(강대현 등, 2020, 도시형스마트농업모델 개발을 위한 자료조사 분석)

□ 도심형 스마트팜 산업 확산 시 해결해야 할 문제점

○ 초기 투자 비용

- 2014년을 기준으로 일본에서 PFAL 건물의 초기 비용은 층간 수직 거리가 50cm인 15개 층을 포함하여 필요한 모든 시설을 갖추면 USD 4000/m<sup>2</sup>(토지 면적, USD 1=120엔, 1,250원)이었으며 한화로는 약 16백만 원/3.3m<sup>2</sup>, 이 초기 비용은 히터, 환풍기, 열 스크린 및 기타 장비가 있는 온실 비용의 약 15배에 달함.

○ 생산 비용

- 형광등(FL) 램프를 사용하는 PFAL의 전기, 인건비, 감가상각비 등의 부품비는 평균 각각 25-30%, 25-30%, 25-35%, 20%이며, 전기비는 총 생산비의 18-20%를 차지하고 있음. 그림 28은 LED가 있는 a-PFAL의 구성 요소별 생산 비용의 예를 보여줌(그림 28).
- 엽채류 생산의 경우 식물 잔류물(뿌리 및 손질한 잎)에 포함된 전기 에너지를 최소화해야 하며, 노지 재배와는 반대로 뿌리의 생육이 좋을수록 지상부 생육과 품질이 좋기 때문에 뿌리 무게를 최소로 제어하면서 지상부의 성장을 제한하지 않는 것은 PFAL 생산 비용 관리의 핵심 재배기술임.



그림 28. 일본의 LED가 있는 PFAL 비용 구성 요소 비율(건물 감가상각비, 광고비, 토지비는 제외) (Jichi, 2018)

□ 도심형 스마트팜 산업 확산을 위한 선제 조건

○ PFAL의 전력 소비 절감 방안

- kg 당 농산물의 전력 소비는 비교적 쉽게 20-30%, 이론적으로 50-80%까지 줄일 수 있으며, 그림29는 FL-PFAL의 배양실에서 에너지 전환 과정을 보여줌.

○ PFAL의 운영비용 절감을 위한 전력량 줄이기 위한 방안(예시)

- 전기효율이 높은 고급 LED를 사용하여 전기에서 빛 에너지로의 변환 계수를 개선
- 반사판으로 조명시스템을 개선하여 램프에서 방출되는 빛 에너지/식물 잎에 의해 흡수되는 빛 에너지의 비율을 증가시킴
- 식물의 성장과 품질을 향상시키기 위해 광질을 개선
- 온도, CO<sub>2</sub> 농도, 양액, 습도 및 기타 요인을 최적으로 제어
- 재배 방법의 개선 및 품종 선택에 의해 식물의 판매 가능 부분의 비율을 증가시킴



그림 29. PFAL 에너지 변환 프로세스

○ 인건비 문제

- 대부분의 PFAL은 소규모이고 대부분의 처리 작업이 수동으로 수행되기 때문에 인건비는 PFAL에서 총 생산 비용의 25-30%를 차지하고 있는 실정임.
- 처리 작업이 수동으로 수행되는 경우 바닥면적이 1ha인 15계층 PFAL에는 300명 이상의 상근 직원이 필요한 것으로 추정됨.
- 소규모 PFAL조차도 상당한 수의 일자리를 창출하고 지역 산업을 활성화시키며, 대부분의 수작업은 편안한 환경에서 수행되는 안전하고 가벼운 작업으로 연령, 성별, 장애인 여부에 관계없이 모든 사람에게 적합함(D'Aleo et al., 2018).
- 네덜란드에서는 과채류, 화초 및 공정묘 생산을 위해 바닥면적이 10ha 이상인 온실 단지에서 대부분의 처리 작업이 자동화되어 있으며, ha 당 몇 명의 직원만 필요함.
- PFAL은 원격 감지, 이미지 처리, 지능형 로봇 손, 클라우드 컴퓨팅, 빅데이터 분석 및 3D 모델링을 포함한 고급 로봇 기술을 사용하여 자동화가 필요함.

○ PFAL 생산 농작물 품질

- 이론적으로 PFAL 재배 채소의 맛과 영양을 조절하는 것은 기존의 엽채류 생산보다 쉬워야 하지만, 실제 특정 채소에 대한 PFAL의 환경과 맛/영양 사이의 인과 관계는 여전히 명확하지 않음(Erokhin, 2019).

- PFAL 관리자는 맛, 영양 및 성장을 향상시키기 위한 환경제어를 확실하게 모르는 실정임.
- PFAL의 환경제어는 현재까지도 시행착오 단계에 있으며, 이러한 부분들이 PFAL에서 재배된 채소의 맛과 영양이 때때로 불안정한 주된 원인이 됨.
- 현재까지도 기업, 대학 및 공공기관의 연구자들이 PFAL에서 재배된 채소의 맛과 영양을 개선하기 위해 많은 실험과 노하우를 축적하고 있지만, 현재 상용화를 위한 연구는 초기 단계에 있음.
- 그림30은 채소의 품질과 경제적 가치는 맛과 영양뿐만 아니라 추적성을 통해 보장되어야 하는 안정성에 의해 영향을 받는다는 것을 의미하며, PFAL에서 재배되는 채소의 추적 가능성은 100%에 달하며 대부분 자동으로 수행될 수 있음.

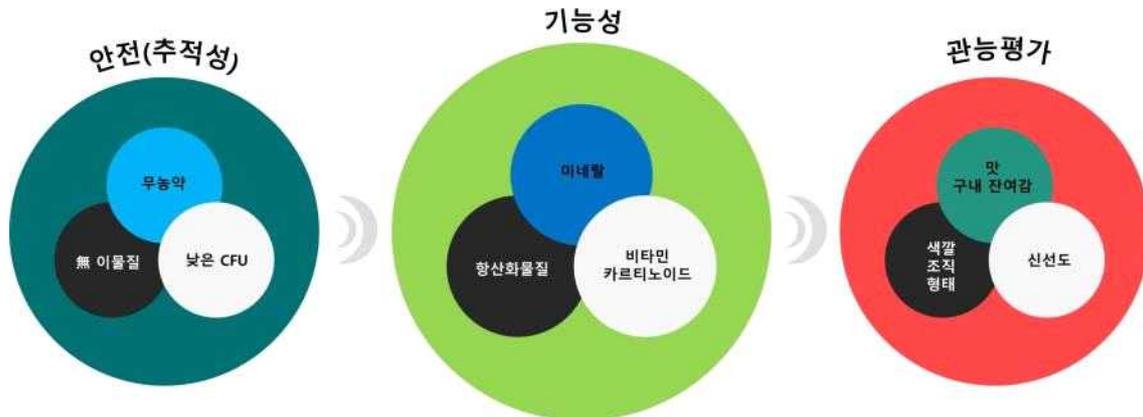


그림 30. 채소의 품질과 경제적 가치에 영향을 미치는 요소

#### ○ PFAL 재배 수익성

- 2014년 2월 일본 농림수산성의 조사에 따르면 165개 PFAL 중 25%만이 수익을 내고 50%는 손익분기점을, 25%는 손실을 입었으며, 2018년 조사에서는 215개 PFAL 중 약 50%가 수익을 창출하였음.
- 수익을 내는 PFAL의 수는 2018년부터 증가하고 있는 추세이며, 2018년에는 여러 개의 대규모 PFAL이 건설되었음.
- 손실을 보고 있는 PFAL을 방문한 결과 PFAL 관리자는 식물이 광합성을 위해 CO<sub>2</sub>가 필요하다는 사실을 인지하지 못했으며, 밀폐된 PFAL에서 CO<sub>2</sub> 농축의 필요성을 인지하지 못하였음.
- PFAL 관리자의 기술 향상을 위한 인적 자원 개발 및 교육의 중요성을 시사함.

#### ○ PFAL 재배 작물

- 대부분의 PFAL은 허브를 포함한 잎이 많은 채소만 생산하고 있는 실정이며, 이러한 이유는 재배하기 쉽고 PFAL에서 재배한 잎이 많은 채소에 대한 수요가 많기 때문임.
- PFAL에서 재배된 채소를 신선한 샐러드용뿐만 아니라 천연물 약제의 원료로도 상업적으로 사용한다면 시장 규모가 증가하여 '도심형 스마트팜 산업의 새로운 분야'를 창출할 것임(표 17).

#### ○ PFAL이 잘 설계될 경우의 장점

- kg 당 생산 비용을 30% 줄일 수 있음
- kg 당 경제적 가치는 15% 증가할 수 있음
- 초기 비용을 30%까지 쉽게 경감할 수 있음
- 이러한 목표를 달성할 수 있으면 PFAL을 모든 지역 및 농촌 지역에서 사용하여 가공식품 재료를 위한 고부가가치 작물을 재배할 수 있음.

표 17. 향후 PFAL 재배 식물 사용 범위(Kozai, 2019)

No.	작물 재배 확대 가능성(고부가가치, 고기능성 등)
1	신선한 샐러드와 슬라이스 채소
2	냉동 및 건조 채소
3	페이스트, 소스, 청량음료, 음료 첨가물, 잼, 주스
4	장아찌, 소금에 절인 채소, 김치
5	건조식 채소, 튀김 및 수프 채소 요리
6	화장품, 염료, 방향제 및 향료
7	한약재 및 보조제용 약용식물
8	기능성 식품 및 의약품 (백신)
9	모든 종류의 이식, 번식을 위한 모식물
10	딸기, 블루베리, 라즈베리, 블랙베리

## 다. 국내·외 도심형 스마트팜 활용사례

### □ 국내 도심형 스마트팜 활용사례

- 최근 10년 사이 신산업으로 성장하였으며, 주로 식품, 가공식품 및 기능성 분야에 집중적으로 확대되고 있음.
- 팜에이트(주)(<http://farm8.co.kr>)
  - 다양한 샐러드 채소류(새싹채소, 아이순, 어린잎채소, 파프리카, 쌈채소 등)와 특수채소(허브류, 아스파라거스, 미니채소 등)를 당사 직영농장에서 직접 재배 또는 계약재배함(그림 31).
  - 당사가 취급하는 새싹채소, 어린잎채소, 특수채소, 파프리카 등을 소비자가 편리하게 사용할 수 있도록 전처리 가공하여 소분 포장하여 제공됨.
  - 엄격한 위생기준(HACCP, GAP)을 적용한 현대화된 제조시설에서 엽채류, 과채류, 구근류, 과일류 등 원물을 소비자의 수요에 맞게 전처리 가공을 하여 다양한 샐러드 가공식품을 제조함.
  - 특수채소를 대형할인점, 백화점, 대형 식자재, 외식 프랜차이즈업소 등에 신선유통을(콜드체인 시스템/전국 물류배송체계 완비) 고집함.





그림 31. 다양한 형태의 도심형 스마트팜(출처:팜에이트㈜)

○ (주)스마트팜센터

- (주)스마트팜 센터는 스마트팜 플랫폼을 통한 스마트팜 개발 및 운영 전문 기업으로 성장시키고, 스마트팜 기반 비즈니스모델(BM)과 프로그램(표 18)으로 컨텐츠 융합을 통해 농업 산업의 새로운 성공적인 비즈니스 모델을 제시하고자 함.
- 30여 종의 어린잎 채소를 재배하고 있으며, ICT 기술이 적용된 시설로 환경제어가 가능한 식물공장을 임대 및 판매, 설치 및 관리하고 있음.
- 식물공장의 종류 중 유닛형(냉장고형)과 설치형(빌트인형)을 주로 제공하고 있으며, 별도의 상담을 통해 비즈니스모델 설계 및 시공을 담당함.

표 18. (주)스마트팜센터 도심형 스마트팜 종류(주)스마트팜센터)

종류	내용	구성요소
유닛형 스마트팜	소규모 공급이 필요한 F&B 전시관 등에 적합한 형태로 0.8평 미니 식물공장 F&B에서 연간 500kg 청정채소를 생산 가능	-
설치형 스마트팜	구조물 안에 별도의 레이아웃을 맞추어 설치하는 형태 실내형 식물공장에서 연간 최대 2톤의 청정채소를 생산 가능	무독성 2중 단열 Water Way 이동형 재배 베드 저발열 식물재배 전용 LED 양액 자동 교반 공급 시스템 환경제어시스템(터치스크린)
공장형 스마트팜	공장형으로 대량의 엽채류 생산 가능한 형태	무독성 Water Way 이동형 재배 베드 저발열 식물재배 전용 LED 양액 자동교반 공급 시스템 환경제어시스템
딸기류 스마트팜	수직형으로 배지를 배치하여 생산성 극대화	식물재배 전용 LED 양액 자동교반 공급 시스템 환경제어시스템 실시간 모니터링 시스템 자동/수동 유닛쿨러 에어커튼

- 현재 엽채류와 딸기 위주로 사업을 진행 중에 있으며, F&B 마켓, 박물관, 학교 등 다양한 목적의 기관에 입점하여(그림 32), 날씨, 기온, 재해에 상관없이 언제나 균일한 품질로 속성 재배할 수 있으며, 농업 전공 여부와 상관없이 손쉽게 재배가 가능할 수 있는 시스템을 구축하였음.



그림 32. (주)스마트팜센터의 도심형 스마트팜 사례(주)스마트팜센터)

- (주)스마트팜센터에서는 미니 식물공장, 설치형 식물공장을 하나캐피탈, 시니어클럽, 군포제일교회 등 전국 F&B 매장에 배치 및 운영관리 솔루션을 제공하고 있음(표 19).

표 19. 도심농업 입점 수주 현황(주)스마트팜센터)

구분	단계	내용
하나캐피탈	계약완료	하나캐피탈과 할부사업 진행중
시니어클럽	설치완료	F&B 매장 내 운영 중
군포제일교회	설치완료	설치 운영 중
Fraiche	설치완료	F&B 매장 내 운영중
농업박물관	설치완료	딸기팜과 엽채팜 설치 운영 중
서귀포고	설치완료	교육용 스마트팜(1차분)
		교육용 스마트팜(2차분)
성보화학	설치완료	F&B 매장 내 설치 운영 중(압구정)
		F&B 매장 내 설치 운영 중(용산)
농협 하나로마트 창동점	설치완료	마트 내 설치 운영중

### ○ 해피팜 협동조합

- 해피팜 협동조합(그림 33)은 도시의 생활 속에서 농업과의 거리를 좁히고 사람과 기술과 사랑을 모아 더 많은 기회를 싹틔우는 미래 스마트농업을 선도하고자 함.
- 다양화 연구를 거쳐 재배된 각종 새싹 약초류를 고급 한정식 식당을 비롯해 다양한 채널에 유통하고 있으며, 새싹 삼의 잎에서 추출한 사포닌과 진세노사이드를 함유한 화장품 원료를 제조하고 이를 화장품으로 제조 및 유통함. 또한, 이동형 스마트 파밍 기기를 개발하여 팜 카페로 음식점이나 카페에 공급하고 있음.



그림 33. 해피팜 협동조합의 도심형 스마트팜 사례(사진제공: 해피팜 협동조합)

□ 국외 도심형 스마트팜 관련 World-class 산업체군

- 사막, 도시국가에서도 농산물 생산이 가능한 도심형 스마트팜 시장은 최근 LED, ICT 등 관련 기술 발전이 시장 확대를 견인하고 있으며, 구글, 아마존, 소프트뱅크, 파나소닉, 도시바, 히타치 등의 적극적인 투자가 진행 중인데, 에어로팜(뉴저지/미국)으로 대표되는 주요 산업체(표 20) 및 세계적 선도기업의 R&D생산판매 모델(그림 34)은 다음과 같음.
- 국외 도심형 스마트팜 업체 7위에는 에어로팜, 플렌티, 바워리파밍 등이 있으며, 미국의 에어로팜에서는 수직농장 운영으로 일반 노지 재배보다 물 사용량을 95% 절감하였고, 단위 면적당 생산량을 390배 증가시켰으며, 연중 안정적인 생산비를 유지하였음.
- 미국 뉴저지(본사)의 수직농장은 세계 최대 규모(생산량 9.1만 톤/년)로 제철소 건물을 재활용하여 사용하고 있으며, 주력 생산 품목으로는 케일, 허브 등의 엽채류임.
- 2021년에는 아부다비에 0.8ha의 세계 최대 규모의 수직농장 건설을 할 예정이며, 에어로팜에서는 수직농장에서 생산된 신선 농산물이 부패하여 버려지는 것을 해결하기 위하여, 상추의 잎이 변하는 기작을 구명하고 이를 방지하고 수확량을 늘리면서 수확물의 품질을 높이는 방법을 실험하기 위해 기술 개발도 진행하고 있음.
- 샌프란시스코에 본사를 둔 플렌티는 수직농장 관련 농업회사인 알버트손과 파트너십을 맺고 남부 캘리포니아에 매장을 430개 이상으로 확장할 것임.
- 플렌티사에서는 소프트뱅크가 주도하는 1억 4천만 달러의 자금을 조달할 것이며, 드리스콜스와 파트너십을 통해 연중 신선한 딸기를 실내 수직농장에서 생산하여 도시민들에게 제공함.
- 미국 뉴욕시에 본사를 둔 바워리파밍은 2021년에 매출이 600% 증가하여, 그 수익으로 펜실베이니아주 베들레햄시에 새로운 수직농장을 지을 계획임.
- 2018년 퍼스트라운드캐피탈 등에서 1억 2천 달러의 투자 유치에 성공하였고, 작물 100종을 생산할 수 있는 기술력을 확보하기 위해 R&D에도 투자하고 있음. 주력 생산 품목으로는 케일, 청경채, 버터헤드 양상추 등임.
- 바워리파밍의 수직농장은 물 사용량을 95% 절감하였고, 단위면적당 생산량이 100배 증가하였고, 수직농장 내에서 살충제를 사용하지 않고 신선 채소를 생산하는 기술을 보유하고 있음.

표 20. 매체별 주요 도심형 스마트팜 산업체군 조사(도시형스마트농업모델 개발을 위한 자료조사 분석, 농촌진흥청)

구분	TOP 7	TOP 25 & etc	TOP 7	TOP 8	TOP 10
산업체	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. AeroFarms</li> <li>2. GP Solutions</li> <li>3. Plenty</li> <li>4. Bowery Farming</li> <li>5. BrightFarms</li> <li>6. Gotham Greens</li> <li>7. Iron Ox</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. AeroFarms</li> <li>2. Plenty</li> <li>3. Green Spirit Farms</li> <li>4. Bowery Farming</li> <li>5. Iron Ox</li> <li>6. InFarm</li> <li>7. AgriCool</li> <li>8. CropOne</li> <li>9. Illumitex</li> <li>10. Suma</li> <li>11. Freight Farms</li> <li>12. Voeks Inc</li> <li>13. SananBio</li> <li>14. HelioSpectra</li> <li>15. Agrilution</li> <li>16. Bandia Farms</li> <li>17. Intelligent Growth Solutions</li> <li>18. FarmOne</li> <li>19. Spread</li> <li>20. Yes Health iFARM</li> <li>21. Urban Crop Solution</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. AeroFarms</li> <li>2. Gotham Greens</li> <li>3. Plenty</li> <li>4. Lufa Farms</li> <li>5. Beijing IEDA Protected Horticulture</li> <li>6. Green Sense Farms</li> <li>7. Urban Crop Solutions</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. AEssenseGrows</li> <li>2. Agrilution</li> <li>3. Alitus Farms</li> <li>4. Heliospectra</li> <li>5. Freight Farms</li> <li>6. Illumitex</li> <li>7. Suma</li> <li>8. Urban Crop Solutions</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. AeroFarms</li> <li>2. Bandia Farms</li> <li>3. Green Spirit Farms</li> <li>4. Intelligent Growth Solutions</li> <li>5. World Food Building</li> <li>6. Plenty</li> <li>7. Sky Greens</li> <li>8. Spread</li> <li>9. Sunqiao</li> <li>10. Urban Crop Solutions</li> </ol>
기준	August 8, 2019	August 5, 2019	Forecast to 2025	2019 edition	October 30, 2018
매체	<a href="https://www.growpodsolutions.com/">https://www.growpodsolutions.com/</a>	<a href="https://www.hortibiz.com/news/&amp;etc">https://www.hortibiz.com/news/&amp;etc.</a>	<a href="https://reports.valuates.com/">https://reports.valuates.com/</a>	<a href="https://www.urbanvine.co/">https://www.urbanvine.co/</a>	<a href="https://maximumyield.com/">https://maximumyield.com/</a>



그림 34. 해외 선도기업 생산·판매 모델(강대현 등, 2020, 도시형스마트농업모델 개발을 위한 자료조사 분석)

□ 국외 도심형 스마트팜 활용사례

○ 유럽

- 영국의 존스푸드회사에 의해 건설된 수직농장은 2018년 가을부터 운영되고 있으며 일부 생산물은 아일랜드의 간편 식품 생산업체인 그린코아에 판매되고 있으며, 고급 로봇을 사용하여 연간 최대 400톤의 엽채류를 생산함.
- 프랑스의 어그리쿨은 신생 수직 농업 회사이며, 2015년에 설립되어 수경재배 방법을 사용하여 딸기 재배를 위한 컨테이너형 농장을 개발하였고 2019년 초 어그리쿨은 파리에서 5개의 컨테이너 농장을 운영하였으며 두바이에서 1개의 컨테이너 농장을 기점으로 글로벌 확장을 시작하였음(그림 35).
- 독일의 신생 기업 인팜은 베를린을 기반으로 소매업체와 레스토랑을 위한 매장 내 농장을 개발하여 허브, 엽채류 채소 등을 현장에서 직접 생산함.
- 에스토니아의 신생 기업인 클릭앤그로우는 가전제품 농장을 개발하며 ‘스마트 실내 정원’은 미국에 이어 두 번째로 큰 시장으로 알려져 있음.

○ 미국, 에어로팜

- 미국 뉴저지에 본사 공장을 둔 에어로팜은 세계 최대 규모(생산량 9.1만 톤/년)로 제철소 건물을 재활용하여 물 사용량 95% 저감, 단위면적당 생산량 390배, 일관된 가격을 유지하고 있음.
- 2004년부터 실내 수직 농업 분야의 상업적 리더였으며 독점적인 에어로포닉스를 사용하여 계절이나 날씨에 관계 없이 주년 생산에 최적화되어 있으며, 엽채류, 딸기, 토마토 등을 포함하여 550가지 이상의 다양한 식물을 재배하고 있음(그림 36).



그림 35. 유럽 도심형 스마트팜 활용사례

(1. 존스푸드회사, 2. 컨테이너 속 어그리컬, 3. 인팜의 지하철 안 매장, 4. 클릭앤그로우의 응용 농장)



그림 36. 에어로팜 내부 전경(<http://www.aerofarms.com>)

○ 미국, 리버파크 팜

- 미국 뉴욕 맨해튼, 알렉산드리아 센터 내에 위치한 리버파크 팜(그림 37)은 뉴욕에서 가장 큰 도시농장 모델 가운데 하나이며, 경제위기로 인해 알렉산드리아 센터 서관의 공사가 일시적으로 중단되었을 때, 사용되지 않는 막힌 땅을 활용해 지어져 현재는 공간 활용의 우수한 사례로 평

가됨.

- 리버파크 팜은 레스토랑과 제휴를 맺어 신선한 재료를 공급하고 있으며, 알렉산드리아 생명 과학 센터와도 연계를 맺고 있음. 로메인, 양상추, 토마토, 콩, 당근 및 허브 등 다양한 작물을 재배하고 있음.



그림 37. 리버파크 팜 외부 전경(사진출처: Riverpark Farm)

#### ○ 네덜란드, 세계원예센터

- 세계원예센터(그림 38)는 연구, 개선, 시연 및 교육이 독창적인 방식으로 결합 되어 있는 글로벌 지식 및 혁신센터로 지구상의 모든 사람이 건강한 음식과 녹색 생활 환경을 누릴 권리가 있으며 원예 부문이 필수적인 역할을 하고 있음을 강조함.
- 원예 분야의 강점을 최대한으로 활용하기 위해 교육, 기업, 연구, 정부, 자연과의 상호 협력의 중요성을 인지하고 있으며, 국제 원예 온실의 지속 가능한 혁신을 위해 학생, 교사, 연구원, 기업 및 정부가 집중적으로 협력하는 원예 지식 및 혁신센터임.
- 수질, 식품공급, 식품 안전 및 지속가능성 분야의 사회적 문제에 대한 솔루션을 제공하여 사람들의 웰빙에 기여하고자 함. 약 3,000평의 교육 전시실과 약 2,000평의 연구동이 구성되어 있고, 16개의 온라인 교육 프로그램을 실시하고 있음.
- 시설에 관련된 육묘, 기후, 수분, 광, 작물 보호, 시비, 수확, 포장 육종 등과 관련된 교육과 실습을 하고 있으며, 회사원을 대상으로는 원예 관련 무역, 물류, 비즈니스, 엔지니어링 등을 실시하고 있음.
- 전시실은 100개 업체가 현재 개발한 품종, 원예용품, 시설 관련 모든 기자재, 시스템, 로봇, 생물학적 방제나 비료 등의 전시용으로 사용하고 있으며, 연구동에서는 70명의 연구자가 자체 또는 위탁연구를 하고 있음.





그림 38. 세계원예센터 내 시설(사질출처: World Horti Center)

○ 일본, 일본식물공장연구회

- 기술적·경제적으로 지속 가능한 식물공장 시스템의 연구·개발·실증·보급을 통해 우리가 직면하고 있는 식량·환경·에너지·자원 문제를 해결하고 지속 가능한 미래의 사람들의 건강과 삶의 질 향상에 기여하고자 함.
- 연구기관이나 기업 간의 연계를 통해 연구개발, 기술 및 비즈니스 지원 식물공장 전문가를 양성하는 인재 육성 프로그램의 기획·운영 견학, 홍보 활동을 포함한 국제 사업 등 다방면의 활동을 함.
- 부지 내에는 6개의 태양광형 식물공장 4동과 인공광형 식물공장, 기타 관련 시설이 설치(표 21)되어 있고, 각각 다른 기업에 의해 운영되는 각 시설에서는 다양한 기술과 방법을 이용해 친환경농업의 연구·실증이 이루어지고 있음(그림 39).



그림 39. 일본 식물공장연구회로 이루어진 도심형 스마트팜 전경(Hayashi et al., 2020)

표 21. JPFA 식물공장 지도 내의 시설 종류(일본식물공장연구회, 참고)

구분	내용
① 자연급수재배장치(태양광형)	복잡한 관개시스템의 설정이 필요 없는 바닥 급수형 재배시스템을 이용하여 쉽게 고품질의 토마토 등을 만들 수 있는 재배기술 개발
② Long-stage 밀식 재배(태양광형)	분무수경 재배 방법을 채택하고 질소비료의 컨트롤을 이용해 생산성 향상
③ 식물공장용 종자 연구(태양광형)	생산비용 절감과 재배하기 쉬운 품종을 개발
④ 저농약 고품질 토마토 low-stage 밀식 재배(태양광형)	인공광형 모종 생산 장치, 높은 생산성을 입증
⑤ D 트레이 시스템(태양광형)	토마토 재배의 생력화·고수익화를 목표로 D트레이는 극소량 배지 트레이를 사용하여 환경제어와 소량 다빈도 관수에 의해 적당한 스트레스를 주면서 재배
⑥ 다단식 재배공장(인공광형)	저비용 업체류의 다량 생산을 실현하기 위해 다단식 재배 베드에서 안정된 생산이 목표
⑦ 딸기 주년재배(인공광형)	종자번식성 딸기를 이용해 종자에서 모종 생산, 수확까지를 연속적으로 실시, 매년 안정적인 수익률 실현
⑧ 2차 육묘시설(태양광형)	인공광형 식물공장에서 기른 모종을 시설에 옮겨 단기간 모종 전용 통제된 환경시설 내에서 육묘하여 본포 재배기간을 단축하고 수확 횟수 증가
⑨ 토마토 과실 선별 시설	출하 시의 크기, 모양, 색상을 카메라에서 자동 선별
⑩ 모종 테라스®(인공광형)	Low-stage 밀식 재배의 안정된 주년재배 향한 인공광형 식물공장의 모종 생산시스템
⑪ 부산물 재사용 시설	토마토 재배에서 남는 과실 이외의 경엽과 뿌리 등을 특별한 방식으로 고속 발효시켜 분해, 퇴비나 배지로 재사용
⑫ 기밀성, 에너지 절약형 돔 (인공광형)	높은 단열성과 기밀성을 갖춘 특수 발포 폴리스틸렌 돔 식물공장 혹은, 혹서 지역이나 구조역학적으로 지진이나 강풍이 잦은 지역에 설치 가능
⑬ 세미 드라이 포그® 환경제어 (태양광형)	젖지 않는 안개를 사용해 온도 제어 및 광합성을 촉진하는 시설 내 환경 조성에 관한 기초 실험 실시
⑭ 식물생산 공정 자동화(인공광형)	재배 선반의 반송·수확·포장 등의 식물생산 공정의 자동화를 도모함으로써 저비용 실증 실시

○ 일본, 옥상 식물 생산 시스템

- 식물을 옥상에서 생산하는 세 가지 범주(정원, 중·대규모 영농)로 분류될 수 있음.
- 빗물 유출은 물에 잠긴 거리, 하수 이송시스템 및 폐수 처리장에 대한 부담, 인근 수역의 지하수 오염을 포함하여 도시에 많은 문제를 제기하고 있음.
- 빗물 유출을 완화하는 것은 노후화 및 규모가 작은 하수 시스템에 대한 영향을 줄이거나 단순히 지속 가능한 도시 계획 및 친환경 건물 건설을 추진하려는 도시와 주에서 주요 지침이 되었음.
- 옥상 식물 생산 시스템은 도시의 빗물을 완화하기 위한 전략이 되었으며, 지붕의 80%를 덮는 개방형 지붕 시스템은 최대 40%의 빗물을 보유할 수 있도록 설계되었음(그림 40).
- 큰비가 내리는 경우, 시스템에 흡수되지 않은 물은 저장을 위해 저수조와 탱크로 우회되며 저장된 물은 변기 물 내리기 또는 증발냉각 및 가습을 위해 여과되거나 관개를 위해 저장될 수 있는 기능을 갖추었음(Nasr et al., 2017).

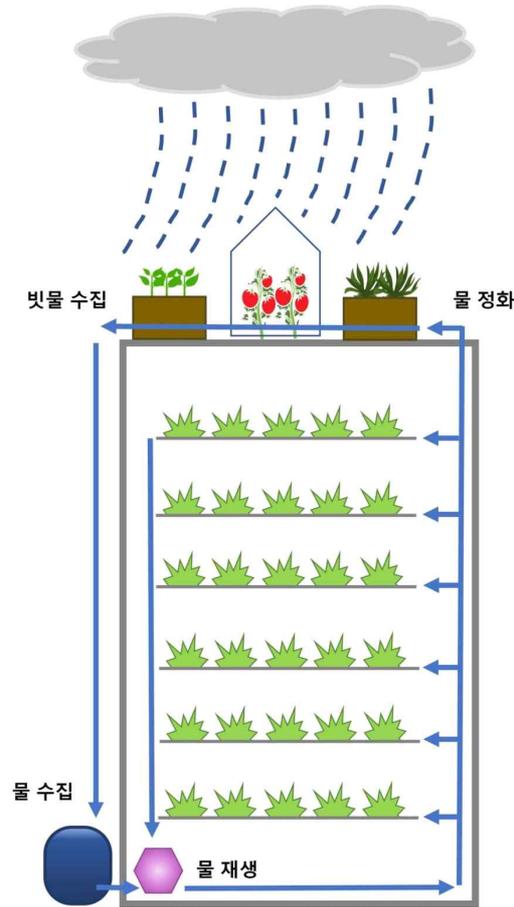


그림 40. 옥상 식물 생산(RPP) 시스템과 통합된 PFAL의 물 순환(Kozai, 2019)

- 환경제어는 PFAL의 모든 에너지 소비의 약 15%를 차지(Kozai et al., 2013a)하며, 이 에너지 소비는 일반적인 상업용 건물(약 35%)보다 훨씬 적지만 HVAC(난방, 환기 및 공조) 에너지 사용을 줄이기 위한 전략은 상당한 운영비용 절감으로 이어질 수 있음(Ashrae et al., 2013).
- 미국에서는 에어컨, 조명 및 가전제품의 동시 사용을 따라잡기 위해 많은 지역 전력망이 하루 중 피크 시간에 전력 수요를 감당해야 하는 부담이 있으며 전기 공급회사와 일부 건축 법규는 피크 수요 기간(일반적으로 14:00-20:00) 동안 에너지 사용에 대해 소비자에게 벌칙을 부과함으로써 대응하고 있음.
- 이 시간 동안 에너지 사용을 줄이기 위한 전략으로는 옥상 태양 전지판을 사용하여 현장에서 전기를 생산하면 조명, 냉난방 장비, 컴퓨터 및 기타 장비에 전력을 공급할 수 있음.
- 잘 설계된 PFAL은 냉각 및 난방을 위한 히트펌프, 물과 공기를 이동시키기 위한 펌프 및 팬의 가변 속도 모터, 작물 조명용 LED를 포함하여 운영을 위한 고효율 장비를 사용함(Kozai et al., 2013b).
- 옥상 식물 생산 시스템은 지붕을 단열하고 지붕을 통한 직접적인 태양열 획득을 차단하여 PFAL의 광 이용 효율에 기여 할 수 있으며, 이 두 가지 요소는 아래 재배 공간의 난방 및 냉방 부하를 크게 감소시킬 수 있음(Alsanius et al. 2017).
- 증발산을 통해 건물의 미기후를 완화하고 햇빛을 위의 대기에 반사하지 않고 흡수함으로써 완화할 수 있도록 설계되었음(Rodríguez-Delfín et al. 2017).
- 이러한 요인의 조합은 많은 도시 건물에서 발생하는 열섬 효과를 완화하여 햇빛을 반사하거나

건물 외부에서 열을 방출하고 공조 중에 건물 내부에서 열을 방출하고 건물 내부의 폐열은 RPP로 재순환하여 더욱 완화시킬 수 있음(그림 41) (Tsirogiannis et al., 2017).

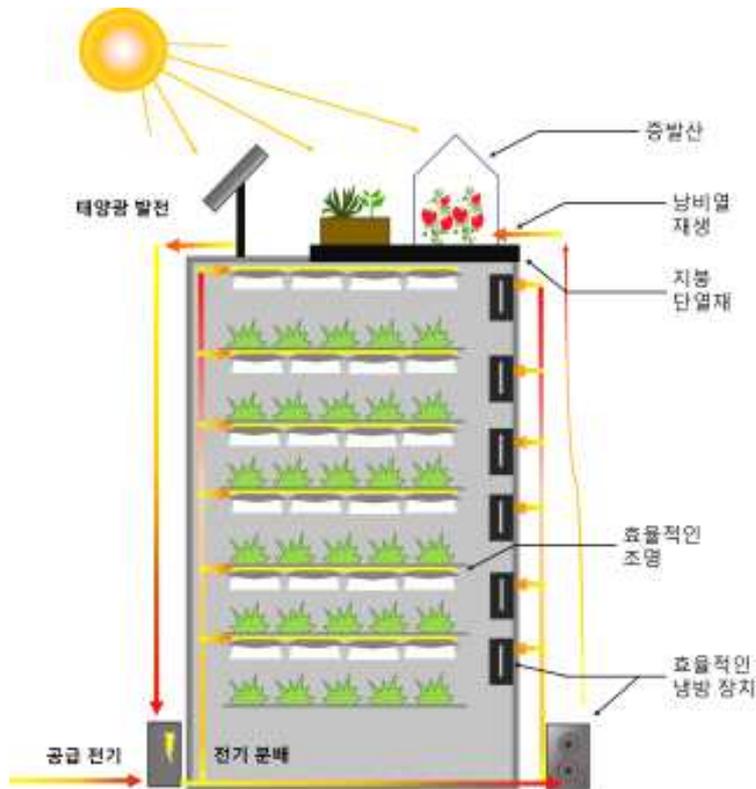


그림 41. 옥상 생산 시스템 및 태양광 발전과 통합된 PFAL의 에너지 순환(Kozai, 2019)

### 3.2. 모델에 적용할 기술개발 계획 및 유사 사업과 차별화

#### 가. 모델에 적용할 R&D 및 R&DB 기술 개발 계획

##### □ SWOT 분석

- 도심형 스마트팜 설립은 미래기술 수요에 대한 기관의 효율적인 정책 및 연구개발 실행을 위한 것으로, 농업 부분의 신산업군으로 부각되는 도심형 스마트팜에 대한 전략수립을 위한 도구로 SWOT 분석을 실시함.
- 국내 도심형 스마트팜 기술 수준은 ‘스마트팜 기술 수준 현황(농촌진흥청, 농업과학기술 중장기 연구개발 계획 p.230)’에서 네덜란드의 82.8점 대비 81.9점으로 기술 격차가 거의 없음. 이는 스마트팜 분야(정밀농업, 자동화·농업로봇, 스마트 저장·유통 기술)에서 세계 수준과 대등한 것.
- 1단계는 각각의 S, W, O, T 분석과, 2단계 내부환경(SW) 및 외부환경(OT) 분석으로 S/O, S/T, W/O, W/T 전략 수립 및 4단계에서 각 단계별 이동전략 수립으로 진행하였음.
- 1단계) SWOT 분석: 도심형 스마트팜 센터 구축에 따른 S(강점), W(약점), O(기회), T(위협)에 대한 각각의 요인분석을 수행하면 주요 내용은 다음과 같음(그림 42).

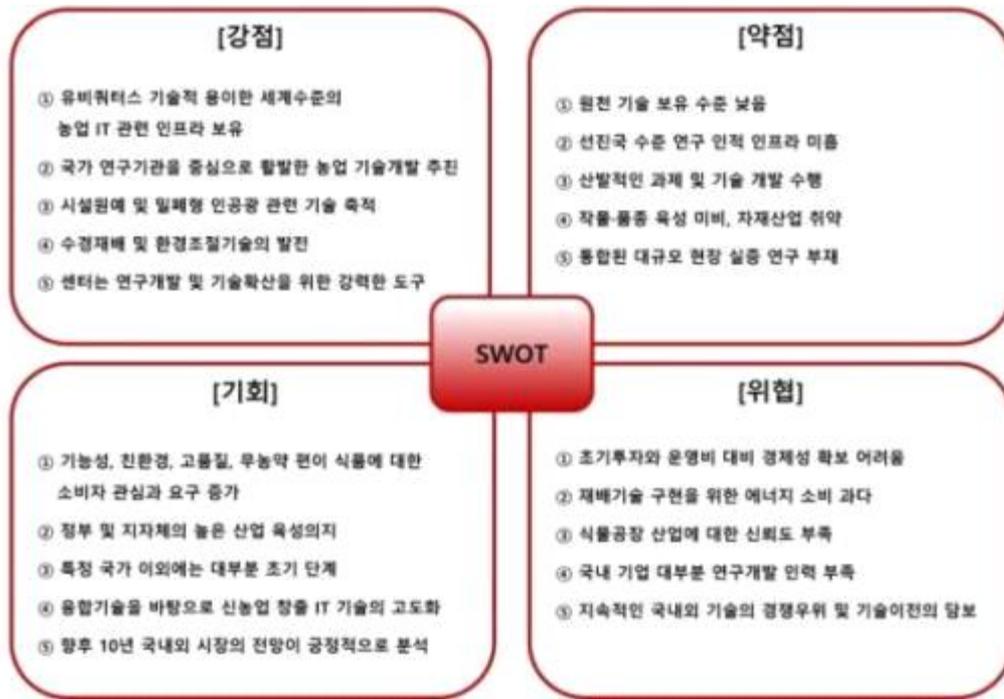


그림 42. 도심형 스마트팜 SWOT 분석

○ 2단계) SO/ST/WO/WT 분석은 도심형 스마트팜 구축에 따른 내부환경(SW) 및 외부환경(OT) 분석으로 SO, ST, WO, WT 전략 수립은 ‘SO\_강점의 극대화로 기회의 활용, WO\_강점으로 확인된 위협의 최소화, ST\_확인된 기회로 약점의 최소화, WT\_위협을 회피하면서 약점의 최소화’로 정리할 수 있음.

○ 도출 요소에 대한 문제점 파악보다는, 극복에 주안점을 두고 각 전략을 도출(표 22).

표 22. 도심형 스마트팜 센터 구축에 따른 SO/ST/WO/WT 전략 수립

SO 전략(강점의 극대화로 기회의 활용)	WO 전략(강점으로 확인된 위협의 최소화)
미래기술 수요에 대한 연구개발로 기술개발 주도 및 확산으로 신산업군 육성	산업화 초기단계의 불완전한 체계를 센터를 중심으로 하는 정책집행으로 보완
분산된 연구 기능의 통합으로 체계적인 로드맵 마련, 효율적 정책집행, 세계화 대응	시장에서 요구하는 다양한 기술수요는 기술개발 로드맵에 지속적으로 리빌딩
국내외시장의 긍정적 전망에 따른 연구개발 및 기술확산의 교두보로 활용	확보된 ICT 기술경쟁력 및 R&D 경험으로 국내외 기술 대비 경쟁우위 확보
급변하는 식생활 변화를 신농산업 육성과 고용 창출 연계로 활성화	지속적인 연구개발과 기술확산으로 신산업 육성에 따른 리스크 최소화
ST 전략(확인된 기회로 약점의 최소화)	WT 전략(위협을 회피하면서 약점의 최소화)
신산업군에 대한 대내외의 긍정적 의식을 바탕으로 산학관연이 R&D에 긍정적 참여	산업화 초기 단계의 불완전한 체계를 센터를 중심으로 연구개발 수행
긍정적인 향후 시장전망을 기반하여 전문인력 육성 및 R&BD 창업보육 지원	시급한 기술수요를 민관 공동 R&D로 상호기술협력으로 극복
젊은 세대 중심의 식생활 변화에 부응하여 신산업 육성을 위한 인력풀 확보	신농산업 육성에 따른 예측 외 리스크를 전문인력 인력풀의 보강으로 최소화
분산된 연구 기능을 통합하고 대학의 소수 전문인력 확보를 제도화	개발·창업·생산·유통의 선순환 사이클을 R&BD 초기투자 비용지원으로 연속성 담보

- 분석에 따른 SO, ST, WO, WT 전략수립은 다음과 같이 요약됨
  - SO) 신산업군 육성, 효율적 정책집행, 기술확산 교두보 마련, 고용 창출 연계
  - ST) 산학관연 R&D 참여, R&BD 창업보육 지원, 인력풀 확보, 전문인력 확보 제도화
  - WO) 정책집행 보완, 로드맵 리빌딩, 기술경쟁우위 확보, 신산업육성 리스크 최소화
  - WT) 센터 중심, R&D, 민관 기술협력, 인력풀 보강, 선순환 사이클 연속성 담보
- 내외부 환경의 반영된 분석에서 도심형 스마트팜 센터의 구축은 SO 전략에서 극복방안이 도출되는데, 효율적인 연구개발 정책집행으로 신산업군 육성의 교두보 마련과 고용 창출임.
- 3단계) 중점전략도출: 각 단계별 이동전략을 수립하여, 단점을 회피하고 장점으로 가는 중점전략의 수립을 각각 하나의 사분면에 하나씩 배치하여 연관된 사항들을 우선순위로 지배하고, 기술개발 및 시장현황에 대한 인식은 향후 전략 수립의 자료로 활용하기 위한 SWOT 중점 전략의 도출 결과는 다음과 같음(그림 43).

Strengths	Weaknesses	Opportunities	Threats
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 세계수준의 농업 IT 인프라</li> <li>• 국가 연구기관을 중심으로 활발한 농업 기술개발</li> <li>• 다양한 기능성 식물 육성</li> <li>• 원하는 시간에 주야간 온도 편차</li> <li>• 실야 전기 사용</li> <li>• 온실에 비해 1/100 수준의 미생물 번식</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 낮은 원천 기술 수준</li> <li>• 선진국에 비한 인적 인프라 미흡</li> <li>• 산발적인 과제 및 기술 개발 수행</li> <li>• 작물·품종 육성 미비</li> <li>• 자재산업 취약</li> <li>• 통합된 대규모 현장실증 연구 부재</li> <li>• 업체류 및 과제류에 집중된 기존 스마트팜</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 기능성, 친환경, 고품질, 무농약 편이 식품에 대한 소비자 관심과 요구 증가</li> <li>• 정부 및 지자체의 높은 산업 육성 의지</li> <li>• 특정 국가 이외 대부분 초기 단계</li> <li>• 융합기술 바탕 신농업</li> <li>• 창출 IT 기술의 고도화</li> <li>• 향후 10년 국내외 시장의 전망이 긍정적으로 분석</li> <li>• 도시에 유입되는 쓰레기를 이용하여 도심형 스마트팜 운영(CO<sub>2</sub>, 열 에너지 등)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 초기투자비와 운영비 대비 경제성 확보 어려움</li> <li>• 재배기술 구현을 위한 에너지 소비 과다</li> <li>• 식물공장 산업에 대한 신뢰도 부족</li> <li>• 국내 기업 대부분 연구개발 인력 부족</li> <li>• 지속적 국내외 기술의 경쟁 우위 및 기술이전의 담보</li> <li>• 구매하는 채소의 25%는 폐기됨 (FAO, 2019)</li> </ul>

그림 43. 도심형 스마트팜 클러스터 중점전략 도출

□ 도심형 스마트팜 기술개발 로드맵

- 현재까지 도심형 스마트팜 관련 추진사업은 식물생산공장 모델 개발('10~'14, 117억 원), ICT 융합 한국형 스마트팜 핵심기반기술개발('14~'18, 20억 원), 수직형 농장 비즈니스모델 실증사업 추진계획('17, 21억 원), 첨단기술 융복합 차세대 스마트팜 기술개발('18~'20, 18억 원), 2020 수직형 스마트팜 모델시범구축사업('20, 73억 원) 등으로 추진 혹은 예정인 것으로 파악됨(강대현 등, 2020, 도시형스마트농업모델 개발을 위한 자료조사 분석).
- 도심형 스마트팜 기술개발 로드맵(표 23)을 20년 중장기로 생산시스템 기술개발 로드맵 4대 분야(자동화/센싱/광원·조명/에너지·공조)와 재배기술개발 로드맵 3대 분야(수경재배/환경조절/광조절)를 제시하였음.

표 23. 도심형 스마트팜 기술개발 로드맵

구분	단기(2-3년)	중기(5-10년)	장기(20년)
자동화	저비용 생력화 기술 · 생력화 요인분석 · 소재, 장비 및 설비 국산화	자동화 요소기술 고도화 · 식물공장 자동화 기기 및 시스템의 표준화 · 식물의 기능성 향상을 위한 공정 자동화 체계개발	무인화 기술 · 요소기술 자동화 및 시스템화 · 식물공장 자동화·AI 기술
	센서 표준화 기술 · 식물공장용 저비용 센서 개발 · 센서 내구성 향상 기술	센싱 기술 고도화 · 생육 및 생체정보 실시간 모니터링 및 평가 · 배양액 내 이온 농도 관리를 위한 센서 기술 실용화	지능형 복합 센싱 기술 · 식물공장용 지능형 복합센서 개발 · 실시간 작물 생육상태 및 성분 계측 기술개발
광원조명	광원 이용효율 증대기술 · 확산/반사 이용 최적 조명시스템 개발 · LED 광원의 출력 균일화 및 정전압 제어기술	다기능 고효율 조명 기술 개발 · 조명효율 향상을 위한 이동식 조명 기술 개발 · 작물의 생육 및 기능성 향상을 위한 조명시스템 개발	인공광원 및 조명시스템 개발 · 군락 내 광 환경 개선 3차원 산란광 조명 기술 개발 · 광 이용 효율 극대화 기술개발(광섬유, 광미러 등)
	에너지 절감 기술 개발 · 에너지 절감형 식물공장 건축구조 설계 기술 · 환경제어 에너지 절감 기술	에너지 이용효율 극대화 기술 개발 · 식물공장 에너지 생산 및 소비 시뮬레이션 · 신재생 에너지 이용 최적화 식물공장 모델 연구	에너지자립 기술개발 · 에너지 자립형 수직농장 모델 연구 · 온실 가스 제로화 식물공장 기술
수경재배	경제성 향상 수경재배 기술 · 식물공장 전용 작물별 양액 및 배지 개발 · 양액 및 자원 재활용 수경재배 기술개발	특성화 수경재배기술 · 양액 관리 기술 표준화 · 수경재배시스템 체계화	미래형 수경재배시스템 · 순환형 수경재배 시스템 기술개발 · 우주 농업 적용 수경재배시스템 기술개발
	경제성 향상 환경조절 기술 · 작물별 환경 및 생육 정량화 기술(광, 온도, 습도, CO <sub>2</sub> ) · 복합 환경조절 시스템 개발	작물별 특성화 환경조절 기술 · 작물별 환경조절 기술 표준화 · 복합 환경조절 시스템 규격화	목적 지향형 환경조절 기술 · 우주 농업을 위한 저압, 미소 중력 하에서의 환경조절 기술개발 · GM작물재배 환경조절 최적화 기술개발
광조절	생산성 제고 맞춤형 광조절 기술 · 작물별 맞춤형 광조절기술 개발 · 확산/반사 소재 이용 생산성 제고 기술	품질 및 기능성 증대 광조절 기술 · 광-식물 대사 반응 기작 해석 · 특정 파장 이용 작물 기능성 향상 기술	에너지자립 기술 개발 · 차세대 광원 이용 2차 대사산물 대량생산기술 · 분자농업 적용 목적 유전자 발현 광조절 기술

□ 기술개발 전략

- R&BD를 통한 창업보육으로 신산업 육성 및 고용 창출을 도모하고, 농가 고령화 및 농가 인구 감소에 적극적으로 대응하며, 새로운 개념의 도시 농업인을 청년을 중심으로 육성하는 기능을 수행하도록 해야 함(표 24).
- 농업과학고실 운영으로 R&D 결과를 학생들에게 창의적으로 공유하고, 농업의 중요성에 대한 홍보 기능 및 편의시설로 유기농 정원 및 레스토랑 등을 제공할 계획임.
  - 도심형 스마트팜은 대학과 연구소 간 유연성과 이동성을 확대하여 두 기관 내에서 직원이 상호 협력하고 스스로를 개발할 수 있는 기회를 제공함.
  - 연구 문화는 '신뢰'를 바탕으로 창의적인 성과를 창출하고 다른 사람들과 연결하여 예상되는 위험을 대처하는 연구 문화를 지향함. 신뢰는 유연성과 창의성의 출발점으로 모두는 성과와 활동에 대한 피드백을 받고 의견을 제시할 수 있어야 함.
  - 효율적인 업무수행을 위해서는 개인과 팀 간 명확한 권한과 이 권한을 달성할 수 있는 자유를 가져야 하며, 모범 사례와 실수로부터 배우며 변화에 적응하고, 배운 것을 빠르게 적용하고 전파하는 능력은 도심형 스마트팜을 다른 기관과 차별화시킬 것임.
- 사람들이 도시 내에서 자신의 농산물을 재배하고 판매할 수 있는 공간을 구축하여 식품 공급망을 단축하고 지속가능성 식품을 생산 가능하도록 함.
  - 일부 식량 생산을 수요가 높은 지역으로 이동하면 식량 공급망과 관련된 온실가스 배출을 줄이고 운송 시간이 단축되어 수입 식품보다 더 신선하고 영양가 높은 농산물을 제공할 수 있으며 현재 농지에 대한 부담을 줄일 수 있음.
  - Rocket vegetable 시스템을 통해 재배, 생산, 배송까지 fast-quick-convenient vegetable로 신선도 및 품질 향상이 가능하며 farm to door의 가치를 실현.
  - Show-demo-center-shopping-display, healing area, civil cultivation allotment 등의 시스템을 도입하여 도심지역 내 첨단농산업 관련 문화생활, 여가활동, 치유농업 등 기존에 접근성이 떨어졌던 다양한 분야에 대한 경험을 가능 하도록 함.
- 기존의 도시농업은 개발 도상국의 가정 식량 안보를 보완하기 위한 방식으로 발전해왔으며, 선진국에서는 일반적으로 레크레이션 목적으로 사용되었지만, 도심형 스마트팜은 도심 및 도심지 주변의 식량 접근을 개선하는 도구로 사용될 수 있음.

표 24. 도심형 스마트팜의 전략 방안

현재, 개별·분산·정부지원 복지농업 중심	미래, 협업·융합·산학협동 산업·복지농업 중심	
대학·연구소 부분별 R&D 협동전략 농업 전반 일반R&D과제 집중수행 내수·식량작물 중심 R&D전략 생산·가공·소비 문제 분리 개별 연구 정부 지원 중심 연구개발 수행 생산자 중심 방어적 문제 해결 방식 영세농 보호·생활형 복지농업 중심전략	⇒	대학·연구소 협업·융합 R&D전략 특화농업 선도 R&D과제 집중수행 기능성 식용 작물 중심 R&D전략 생산·가공·소비문제 연계 융합 연구 산학·협동 중심 연구개발 집중수행 소비자 중심 도전적 문제 해결 방식 스마트농 선도산업화·복지농 병행전략

- 식물 플랫폼 백신을 통한 농산업 경쟁력 강화를 유도
  - 세계보건기구(WHO)의 최근 보고서에 따르면 식물성 약을 한 번 이상 사용한 인구의 비율은 호

- 주 48%, 캐나다 70%, 프랑스 75%(WHO report: Traditional Plants, 2003) 비율로 나타남.
- 현재 아프리카 인구의 최대 80%와 중국 인구의 40%가 건강 관리 요구 사항을 충족하기 위해 전통 의학을 사용하고 있으며, 그 결과 약용식물의 국제 무역은 세계 경제의 주요 부분이 되었으며 개발도상국과 선진국 모두에서 수요가 증가하고 있는 추세임.
  - 식물성 의약품 소비의 폭발적인 증가는 품질과 일관성 문제를 동반하여 안정성과 효능을 손상시키고 심각한 건강 문제를 초래하였으며, 이러한 문제에는 다음과 같은 내용이 포함됨(Geifus et al., 2019).
    - \* 잘못 식별된 식물 종의 불순물 및 오염
    - \* 식물 및 토양 매개 미생물 및 환경 오염물질로 인한 오염은 식물 조직에서 의약 대사 산물의 농도에 광범위한 변화를 초래
    - \* 종자에서 재배된 약용식물의 유전적 다양성으로 인해 의약 성분이 다양함
    - \* 야생에서 채집한 식물은 의약 대사 산물은 계절적 변화에 의해 영향을 받을 수 있음
  - 식물을 기반으로 한 의약품의 유효성과 안정성을 확보하고 식물 내 바이오매스 및 대사 산물 함량을 극대화하기 위한 신기술 개발이 필요.
  - 식물 플랫폼 백신은 기존의 동물 세포 또는 미생물 세포 배양 대신 식물세포 배양 또는 형질 전환된 식물체를 이용하여 생산되는 경제적이며 효율적인 백신임.
  - 최초 식용으로 사용할 수 있는 경구백신의 가능성이 부각 되어 음식과 같은 형태의 투여에 관심을 보였던 개발 방향은 향후 재조합 항원을 발현시키는 플랫폼으로서의 식물체의 강점이 조명을 받으면서 보다 안전하고 대량으로 저렴하게 생산할 수 있도록 개발하는 방향으로 정립되고 있음.
  - 이와 더불어 일정한 양의 백신을 단시간 내에 신속 생산하는 시스템으로서의 적합성도 식물 플랫폼 백신의 중요성을 더하는 요소로 산업적인 가치를 배가시키고 있음.
  - 기존의 백신 생산에 이용되는 미생물이나 동물 세포의 경우 생산과정에서 병원균 및 독성물질 오염의 문제가 우려되는 반면, 식물은 사람과 계통상 거리가 멀어 거의 감염되지 않기 때문에 상대적으로 안전함. 또한, 인체 질병에 대한 특이적 작용으로 화학 합성 약품에 비해 부작용이 적고 효능이 우수함.
  - 기후 변화 및 글로벌화에 따른 감염병의 대유행 위기가 대두되는 상황에서 식물 플랫폼의 백신 생산 시스템은 비교적 단기간에 백신의 대량 생산이 가능하여 감염병에 대한 신속한 대응이 가능함. 인플루엔자백신의 경우 계란에서 생산 기간이 6-7개월의 시간이 걸리는 반면, 식물 플랫폼 인플루엔자백신은 3-5주에 백신의 생산이 가능함.
- 경쟁력 있는 청년 농업인 육성을 위해 진입·정착·성장 단계별 교육, 자금, 컨설팅, 창업 등을 패키지로 지원함.
- 중장기적으로 농업기술원과 대학교가 연계하여 창농 및 창업을 연계한 지식과 기술의 현장 적용과 사업화를 위한 인력을 양성해야 함.
  - 스마트팜 전문연구센터 운영 등 산학연 공동연구를 촉진하여, 산업 진출 가능한 기술인력을 양성하도록 함.
- 협업 사업의 성공적 추진을 위해 성과 중심 운영관리체계(PDM, Project Design Matrix)를 도입하고 지속적 보완/발전을 위한 피드백으로 각 사업의 성공 가능성을 극대화 시켜야하며, 체계화·고도화가 전제임(표 25).
- PDM은 성과 기반 관리의 핵심 도구로서 결과 사슬(Result Chain)을 나타내며 사업의 투입물, 활동 내역, 사업목표 및 객관적인 측정지표, 주요 위험요인 및 전제조건 간의 논리적인 관계를

총괄적으로 묘사하는 매트릭스 형태이며 사업의 기획, 시행, 종료 및 사후관리의 연계를 강화시켜 사업의 효과성을 높이기 위해 사용되는 방식임.

표 25. PDM(Project Design Matrix) 활용구조

기술적 요약	객관적 증명 가능한 성과지표	검증수단	주요 가정 및 위험요인
장기 목표 및 성과물	장기 성과물 측정을 위한 성과지표 및 단계별 목표치	장기성과지표의 객관성 검증수단	장기성과를 위해 고려할 주요가정 및 위험요인과 대책
중기 목표 및 성과물	중기 성과물 측정을 위한 성과지표 및 단계별 목표치	중기성과지표의 객관성 검증수단	중기성과를 위해 고려할 주요가정 및 위험요인과 대책
단기 목표 및 성과물	단기산출물/성과물 측정을 위한 성과지표 및 단계별 목표치	단기성과지표의 객관성 검증수단	단기성과를 위해 고려할 주요가정 및 위험요인과 대책
사업 활동	투입물		전제조건

□ R&D와 R&BD 접목

- 도심형 스마트팜 클러스터는 R&D와 R&BD가 연계되어 구축되는데, 여기서 R&BD는 연구개발이 기업의 비즈니스와 연계된 4세대 R&D 방법론으로 사업화를 전제로 함.
- 국내 도심형 스마트팜 산업은 연구개발 단계이며, 소수의 선도기업의 주도하는 형태인데, 급변하는 식문화 패턴으로 공급이 수요를 못 미치는 상황임.
- 이에 따라 센터는 하나의 공간에 R&D와 R&BD의 기능을 부여하고, 중소기업 체계의 산업군이 취약한 R&D를 국가연구체계로 결과를 도출하여, 이 결과를 비즈니스와 연계하여 사업화(지도·보급·육성·창업·보육) R&BD에 적용하는 것임.
- R&D는 국가연구체계로 산업체에서 연구가 어려운 기초연구 및 긴급한 기술수요가 요구되는 연구 등 정책적인 연구를 시행하고, 이를 반영한 R&BD는 성공적인 창업 및 사업화가 가능한 방향을 전제조건으로 함.

나. 유사사업과 차별화 계획

□ 유사 사업과의 역할 차별화 키워드

- 기존에 운영되고 있거나 추진 중인 사업과 차별화되면서 국가 도심형 스마트농업 산업의 국제화를 위한 창구로서의 신규 센터의 역할을 기대할 수 있음.
- 위와 같은 목표를 달성하기 위한 차별화된 키워드는 다음과 같은 5가지로 제시될 수 있음.
  - 한국 도심형 스마트농업 산업 국제화: 우리나라 도심 내 적합한 위치 선정, 수경재배 기술, 식물공장 적합 개발 품종, 에너지 절감 등의 국제화 노력
  - 산업체/대학/농민 유기적 교류 공간: 산업체의 우수 기자재, 대학 개발 우수 농업기술, 선도 농가 특성화 재배기술의 유기적 연결 구심체
  - 기후 변화 대응 특성화 스마트팜 기술: 네덜란드 등 기존 시설원에 선진 국가와 차별화되는 기후 변화 대응 에너지 절감 스마트팜 기술 실증 및 홍보
  - 국가기관 운영 특성화 교육: 고도 스마트팜 기술 확산을 위한 기술 교육

- 청년 취·창업: 도심 내 청년들의 도심형 스마트팜 산업의 정보 제공 및 체험 등을 통한 평생교육 및 취·창업 기능 편제

□ 국가기관·기업·해외사례 대비 차별화 계획

- 도심형 스마트팜 구축 사업은 농촌진흥법에 기반하고, 신산업군으로 형성되는 도심형 스마트팜에서의 연구 및 결과를 기술 체인의 방식을 통해 비즈니스로 연결하는 과정으로 R&D와 R&BD를 동일 공간에서 일체화하는 것임.
- 농림축산식품부의 국립농업박물관의 핵심 테마는 관람 체험·식문화인 반면, 도심형 스마트팜은 도심형 스마트팜 개념으로 신농산업 창출과 미래기술의 개발·보급·확산을 핵심 테마로 설정하였으며 차별화하였음.
- 국내 도심형 스마트팜 TOP 1으로 2018년 MS 17.6%, 최근 4년 CAGR 31.7%의 팜에이트는 세계적인 모범 수익모델로 내수시장을 견인하고 있음.
  - 팜에이트는 상업용 생산 시설로, 수경재배(HYDROPONICS) 기술에 기반하고, 부족한 생산 시설을 농업인과 생산·판매 컨소시엄으로 극복하고 있음.
  - 이에 반해 건설되는 도심형 스마트팜은 R&D와 R&BD를 동일공간에서 일체화하는 것임.
  - 팜에이트 시설의 목적은 기업이윤 창출인 반면, 도심형 스마트팜은 도시농업으로 신농산업 창출과 미래기술의 개발·보급·확산을 핵심 테마로 설정함.
- 도심형 스마트팜은 생산을 유지하는 것뿐만 아니라 재배자가 생산에서 유통단계를 통합하여 일반 슈퍼마켓, 호텔, 레스토랑 및 카페 등의 기존의 공급망에 대한 차별화를 기반으로 하며, 원산지, 생산지 및 생산 조건에 대한 절대적인 투명성을 기반으로 함.
- 지역의 특산품, 지역 채소, 부패하기 쉬운 품종(장거리 운송이 어려운 품종)을 재배하여 제품 측면에서 기존의 기업과 차별화 전략을 수립하였으며 차별화하였음.
- 시설원예의 글로벌 지식 혁신센터로서 연구, 개선, 시연, 전시, 교육 및 훈련이 독창적으로 이루어지는 기관으로 연간 25,000명이 방문함.
  - 교육과 인력양성: 교육은 학생, 방문자를 대상으로 실시(MBO Westland 학생 20개 과목).
  - 전시 및 비즈니스: 100여 개 기업체(자국 90%, 국외 10%)에서 개발된 농기자재 전시.
  - 연구: 연구동에는 70명의 연구자가 연구하고, 36개 환경제어가 가능한 연구시설을 갖춘.
- 세계원예센터는 교육, 전시 및 비즈니스, 연구 등과 같은 기본적인 기능은 비슷하지만, 도심형 스마트농업센터(도심형 스마트팜)은 대표적인 온실 작물(과채류)를 포함하여 약용·기능성 작물을 생산하여 유통까지의 단계를 두어 차별화 전략을 수립하였음.
- 도심형 스마트팜 구축 사업과 국가기관·기업·해외사례에 대한 핵심적인 차별화 내용은 다음과 같음(표 26).
  - 국립농업박물관은 사업 구성의 개념에서 문화 공간의 개념이 크며, 체험 관광을 주 목적으로 기술전시 홍보 등이 주임.
  - 팜에이트의 상업용 도심형 스마트팜은 기업의 이윤 창출을 목적으로 생산의 효율을 극대화하기 위하여 재배시스템 운영에 대한 사업 개선에 초점이 맞추어져 있음.
  - 세계원예센터(네덜란드)는 교육과 기술전시 그리고 신 사업창출 등을 위하여 구축하였고, 도심형 스마트팜의 기술을 상시 전시할 수 있는 공간도 확보하고 있음.

표 26. 도심형 스마트팜 클러스터 유사 사업 차별화 구분

구분	국립농업박물관	팜에이트 상업용 시설	World Hroti Center
사업구성개념	문화공간	상업용 생산 시설	교육·인력·양성
사업추진목적	체험관람	기업이윤 창출	교육·전시·연구
구성기술성격	기술전시	수경재배	온실재배
개발기술내용	-	다단계배 수익성 모델	품종·용품·기자재 등
개발기술확산	선전홍보	생산·판매 컨소시엄	연구·기업체 컨소시엄
수익창출운영	입장료	판매마진	교육·임대료
고용창출구분	관리	관리·생산·판매	교육·비즈니스·R&D

### 3.3. 도심형 스마트팜 확산 및 운영 모델

#### 가. 도심형 수직형 식물공장 모델 개발

##### □ 수직형 식물공장 설계도

- 그림 44는 수직형 식물공장에서 재배 베드와 부대 장치로 갖추어져 있는 일반적인 평면도이며, 파종(발아), 묘종 생산 및 재배 면적 비율은 대략 1:10:50으로 구성되어 있음(Chun and Kozai et al., 2000).
- 층별 각 선반은 너비가 1-2m이며, 평균은 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 있음.
  - 정식과 수확은 양쪽 끝 쪽에서 진행되며, 통로는 재배 베드의 유지·보수 및 청소에 활용됨.
  - 에어컨 및 공기 순환 팬의 공기 유출 방향은 재배 모듈의 층의 방향과 동일 해야 하며, 온도, 수증기압포차(VPD), 기류속도, CO<sub>2</sub> 농도 등의 균일한 수직 분포를 얻기 위해 실내 공기를 수직으로 이동시키는 구조를 적용하였음(Chun and Kozai et al., 2000).



그림 44. PFAL 재배실 평면도 및 재배실(Chun and Kozai et al., 2000)

##### □ 수직형 식물공장의 장비 및 센서

- 표 27은 설계된 재배실에 설치된 장비와 센서를 나열하였으며, 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, CO<sub>2</sub> 농도, 기류속도, 양액 성분농도 등의 환경요인을 안정적으로 제어하는 장비를 구축하였음.
  - 상대 습도 70% 전후로 유지하여 병해 발생 최소화 및 식물의 광합성 및 생육 촉진
  - 광합성 촉진을 위해 외부 CO<sub>2</sub> 농도보다 1500-2000ppm 높게 유지
  - 설치된 광원으로부터의 발열을 통한 겨울철 난방비 절감
- 수직형 식물공장의 환경요인을 제어하기 위해 조명장치, 공조기기(에어컨 및 송풍팬), 양액관리장치(양액, 미생물 살균장치 포함)를 갖추고 환경요인 센서 이외에도 전기소비량, 급배액량 계측을 포함한 통합환경제어 실시하며 식물 생산 시스템에서의 최적의 조건은 다음과 같음.
  - 지속가능한 생산시스템 / 고수량·고품질과 자원절약·환경보전의 양립
  - 정상적으로 건전하고 작업자의 쾌적함을 유지

표 27. 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 <sub>3</sub> ) 가스 발생기가 있는 공기 청정기
양액 공급	순환 펌프가 있는 배양 베드 스트레이너 및 밸브가 있는 배관 살균 장치(필터, UV램프, O <sub>3</sub> 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 <sub>2</sub> 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 <sub>2</sub> 농도 및 CO <sub>2</sub> 공급율 양액: pH, EC(전기전도도), 온도, 급수율, 양액순환유량 전기 에너지: 전력계, 전력량계

□ 수직형 식물공장의 구성

- 그림 45는 인공조명 및 식물 생산 시스템을 갖춘 식물공장 유형으로 이식 생산을 위해 설계 및 운영되며 번식된 식물의 순응과 증식에도 사용될 수 있도록 구성되었음(Fujiwara, 2016).
- 일본에서 개발되어 현재까지 상용화되었으며, 표준 크기는 폭 4.5m, 길이 3.6m, 높이 2.4m(바닥면적: 16.2m<sup>2</sup>)이며 각각 4단으로 구성된 2열로 구성되어 있음.
- 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 CO<sub>2</sub>를 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).
  - CO<sub>2</sub> 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.

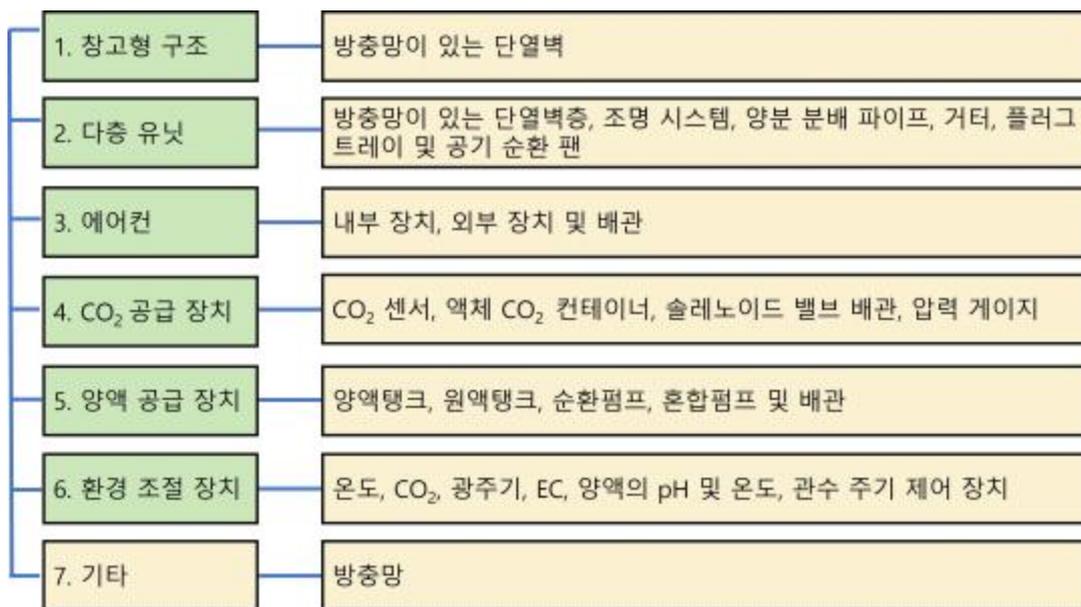


그림 45. 수직형 식물공장(PFALs) 주요 구성 요소(Kozai et al., 2019 참고)

□ 수직형 식물공장의 설치 시 유의 사항

- 수직형식물공장(PFALs) 내 사용 광원은 작목 마다 선호하는 광 파장대가 달라 광질 조사를 통해 적합한 광원을 선정하는 것이 중요함(표 28).

- 식물은 가시광선 영역에서 광합성 및 형태형성이 이루어지며(Williams et al., 2016) 특히, 광합성은 특정 파장대에서 활발해짐(chlorophyll a의 경우 440nm 및 660nm, chlorophyll b의 경우 460nm 및 620nm에서 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 투자 비용, 생산 가동 비용에 상당한 영향을 끼치므로 가격, 소모전력 등을 함께 고려해서 선정할 필요가 있음(Takagaki et al., 2020).

표 28. 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

○ 표 30은 국내외 식물공장용 LEDs를 조사한 것이며, 그림 46은 국내외 식물공장용 광원별 파장(Fang et al., 2014)을 조사한 것으로 다음과 같이 소비전력, 설계수명, 광원별 파장 등을 고려해 LEDs를 선정할 수 있음.

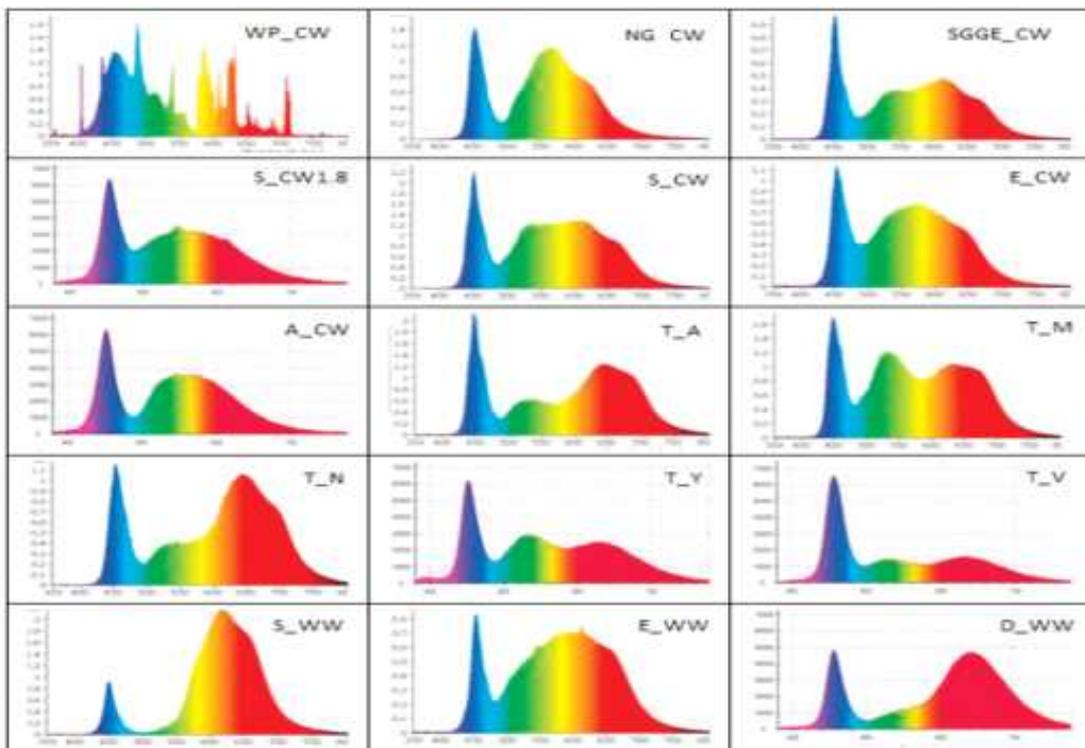


그림 46. 식물공장용 광원별 파장(Fang et al., 2014)

표 29. 국내외 식물공장용 LEDs 광원 판매 업체(Lee et al., Appropriate array of light sources to enhance uniformity in growth of scions and rootstocks, unpublished, 경북대학교 연구팀 제공)

업체명 (국가)	모델명	소비 전력 (W)	조사각 (°)	설계수명 (hr)	특징
Future green (대한민국)	Future green -28W	28	120	60,000	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ AC-IC칩 적용으로 전원, 등기구 불필요</li> <li>○ 안정기 없이 바로 콘센트 연결 가능</li> <li>○ 연색성이 95정도로 태양광과 유사</li> <li>○ LED Chip: Blue chip+R/G/Y 형광체로 하나의 칩에 내장</li> </ul>
빛솔 (대한민국)	HI18-G2	18	120	25,000	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Far red Wp730nm 파장이 포함</li> <li>○ LED Chip: Neutral White, RED, Far-Red</li> </ul>
지에너텍 (대한민국)	식물공장 LED	30	120	25,000	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 청색(450nm), 적색(660nm), 백색(10,000K)이 모두 포함</li> <li>○ LED Chip: R:B:W(3:1:1 비율)</li> </ul>
성광엘이디 (대한민국)	GBT1200	29.5	120	50,000	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ SMPS(컨버터)를 등기구 내부에 설치</li> <li>○ 직/병렬 연속연결 가능</li> <li>○ LED Chip: Red, Blue</li> </ul>
에이온라이팅	SPLT20	20	120	25,000	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 450nm와 Far-Red를 추가하여 풀스펙트럼을 구현</li> <li>○ 연보라색의 색상구현 및 정전류를 이용한 디밍 기능 옵션 설치 가능</li> <li>○ LED Chip: White, Red, Far-Red</li> </ul>
에이팩 (대한민국)	HP-H22P	22	110	50,000	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 고연색성의 부드러운 빛으로 눈의 피로도 감소</li> <li>○ 고압나트륨 램프 대비 50% 이상 에너지 절감</li> </ul>
지엘비텍 (대한민국)	T8 Tube -635nm	24	120	40,000	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 광 효율:100lm/W(Typical)</li> <li>○ 고연색성 White color 구현으로 작업자의 피로도 감소</li> <li>○ Yellow(580nm) 파장 확보</li> <li>○ 식물에 근접 설치가 가능한 낮은 발열</li> <li>○ LED Chip: White, Red, Blue</li> </ul>
에스테크 LED (대한민국)	310형 식물재배 혼합형 LED	28.8	120	50,000	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ SMD5050 3칩이 LED마에 내장</li> <li>○ 생활방수 가능</li> <li>○ 독자적 FAWOO 식물공장시스템 개발</li> <li>○ LED Chip: R:B:W(3:1:1 비율)</li> </ul>
그린맥스 (대한민국)	식물성장 LED바 (삼정칩)	7.2	50	SMPS, 아답터 종류에 따라 다름	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ White 기반 풀 스펙트럼으로 균형잡힌 식물 성장 촉진</li> <li>○ 3개까지 직렬 연결 가능</li> <li>○ LED Chip: White, Green을 포함한 풀 스펙트럼</li> </ul>
a-lite (중국)	White Grow Light	25	120	50,000	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 수경 재배 및 에어로포닉스에 가능</li> <li>○ 맞춤형 스펙트럼 비율 제공 및 제작 가능</li> <li>○ 낮은 열발생</li> </ul>
Philips (미국)	Green Power LED	175	120	36,000	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ HPS 조명에 비해 낮은 유지 보수 비용</li> <li>○ HPS 조명에 비해 적은 열방출 및 높은 광출력 값</li> <li>○ 맞춤형 스펙트럼 비율 설정 및 제작 가능</li> </ul>
VANQ	GLX120 120W LED	120	120	50,000	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 균일한 배광 및 우수한 열전도율</li> <li>○ 다양한 실내 재배 적용을 위한 다목적 모듈형 디자인</li> </ul>
GE current	NewArize Life LED (93031538)	16.3	120	36,000	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 조직배양 및 챔버용 라이트 바</li> <li>○ 열 발생이 적으며, 식물체 가까이에 광이 잘 전달</li> <li>○ 작동 환경: 0-40도</li> </ul>
Valoya	BX120	132	120	50,000	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 얇고 가벼우며 습기와 충격에 강함</li> <li>○ 열이 식물 반대 방향으로 방출</li> <li>○ 광량이 일정하게 방출</li> </ul>
Totalgrow light	TG6B	60	120	50,000	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 공간 차지가 적은 매우 얇은 프로파일</li> <li>○ 다 기능성을 위한 풀 스펙트럼 및 모듈식 설계</li> </ul>

- 광원 파장 이외 수직형 식물공장 재배 모듈 내 균일한 광 분포를 형성해야 식물들이 일정하게 성장하여 생산 및 노동 효율성 등을 높일 수 있음(그림 47).
- 광 균일도 제고를 위해서는 모듈의 형태에 따라 광원 배치를 달리하여야 함.
- 광원 배치를 설계자의 직관으로 하는 것에는 무리가 있기 때문에 3-D ray tracing(TracePro, Lambda Research Co., Polyphasic, Littleton, USA) 광학 소프트웨어를 사용할 수 있음.

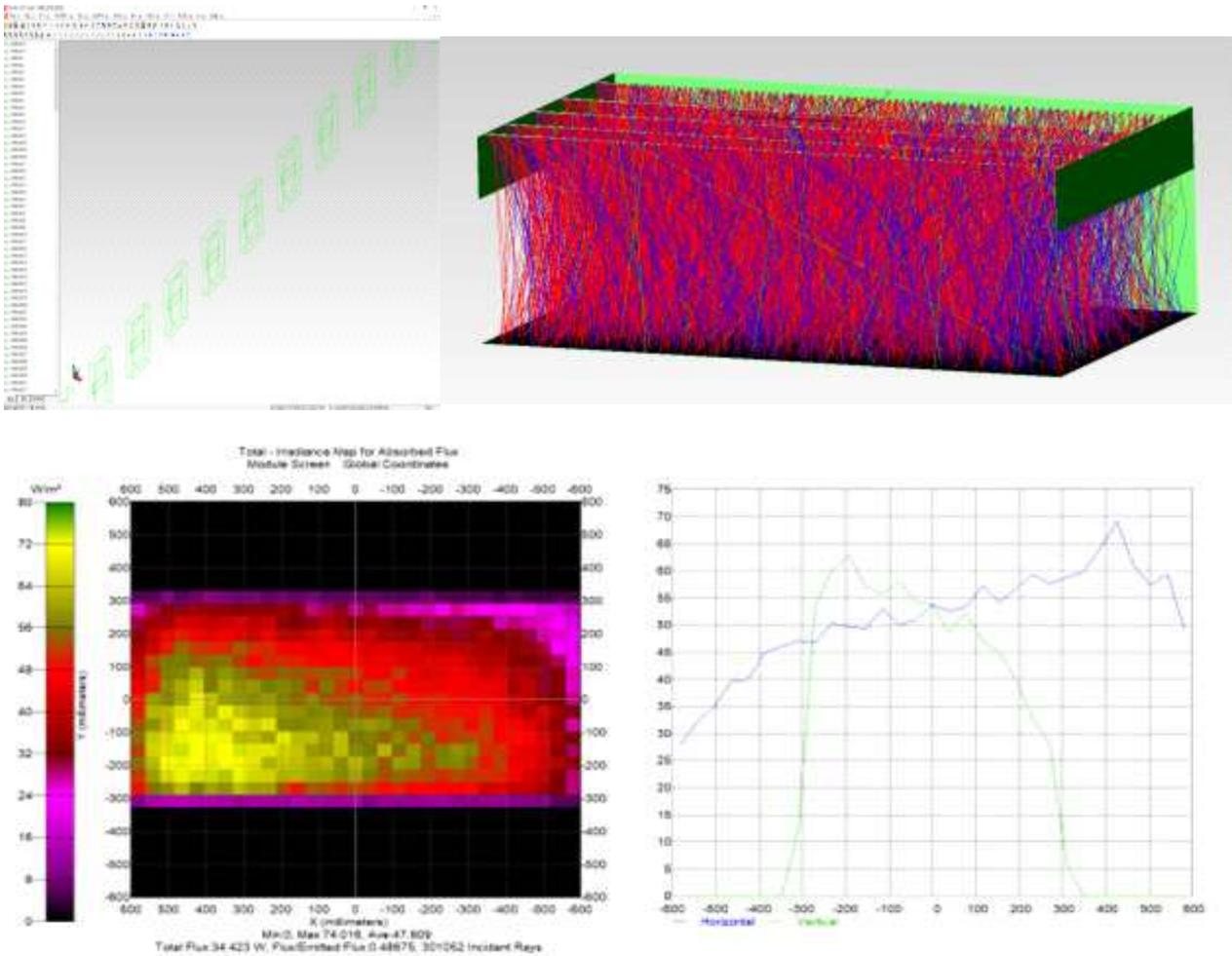


그림 47. 3-D ray tracing 이용한 모듈 내 광 균일도 분석(Lee et al., Appropriate array of light sources to enhance uniformity in growth of scions and rootstocks, unpublished, 경북대학교 연구팀 제공)

- 광원 및 재배 모듈의 구조와 형태를 3-D 모델링한 후 광학 소프트웨어를 사용하여 그림 48과 같이 모듈 내 수평 및 수직 상의 광량을 프로파일 할 수 있으며, 광원 배치 별 시뮬레이션을 통해 광 균일도를 향상시킬 수 있음.
- 그림 48과 같이 여러 광 배열을 3-D ray tracing으로 시뮬레이션 한 뒤, 수평 분포 그래프로 나타낼 수 있으며, 광량별 면적 비율을 구하거나, 변이계수를 통해 적정 배열을 선정할 수 있음.

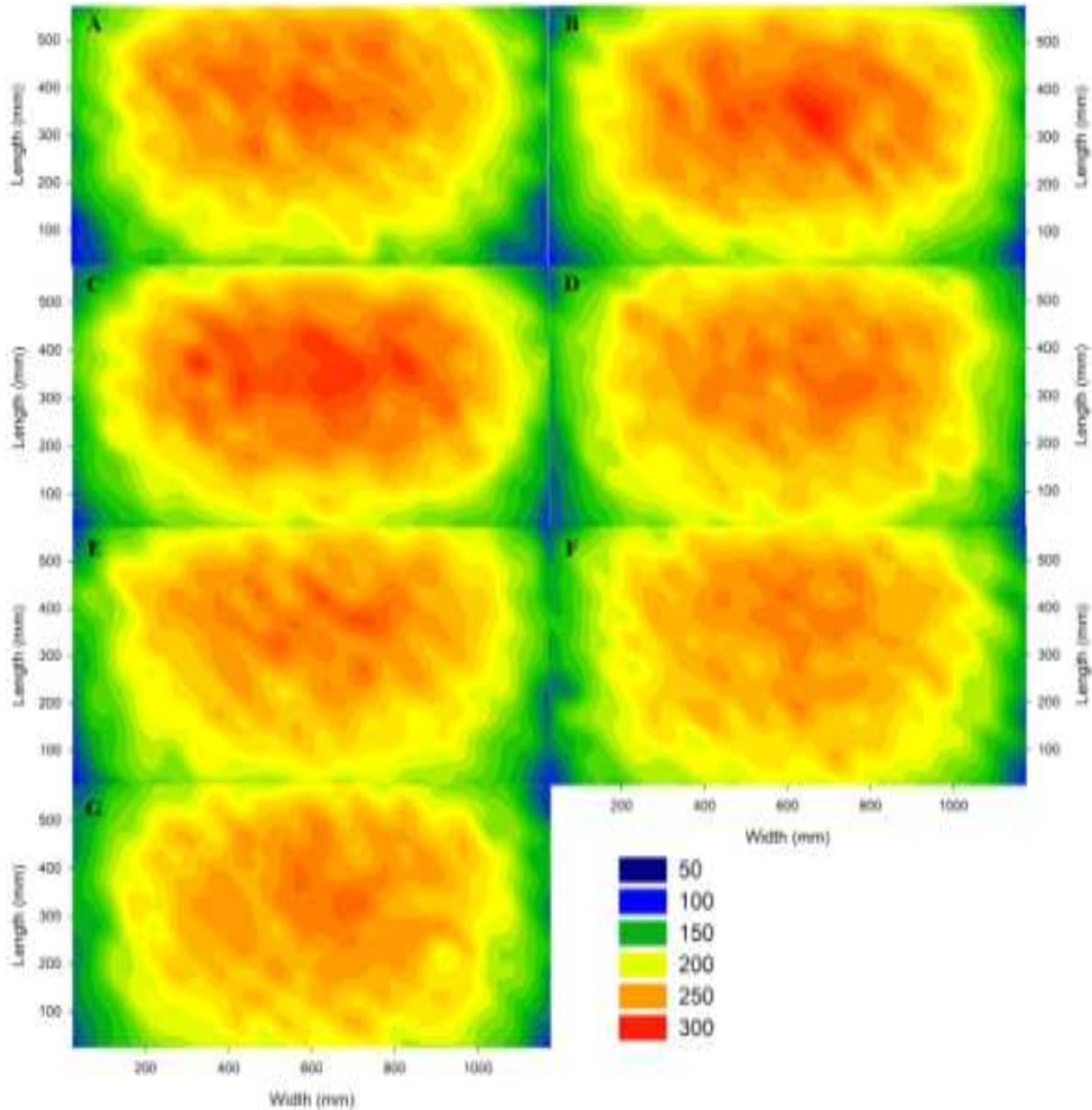


그림 48. 광원 배치별 모듈 내 재배상 수평 분포(Lee et al., Appropriate array of light sources to enhance uniformity in growth of scions and rootstocks, unpublished, 경북대학교 연구팀 제공)

- 수직형 식물공장 내 기류 및 풍속을 고려하여 설계할 필요가 있음.
  - 식물 균락 내 기류 속도가 증가함에 따라 순광합성량 및 증산량이 최대 2배 가량 증가(Kitaya et al. 2003)하기때문에 식물 성장을 원활하게 하기 위해서는 적당한 풍속을 고려한 기류를 형성 할 필요가 있음.
  - 식물에 필요한 환경 조건 중 미세기류의 영향으로 식물의 생장이 현저하게 차이가 날 수 있음 (Yamori, 2020).
  - 실제로 기류가 일정하게 형성되어야 식물의 생장이 균일하기에 효율적인 공간 사용이 가능함 (Bantis et al., 2019).
  - 층별 일정 미세기류 형성을 위해 그림 51과 같은 블로어(Blower) 시스템을 설치해야 함.
  - 그림 49-50과 같이 재배상의 식물에 일정 기류가 형성되도록 안쪽으로 바람을 흡입하는 시스템으로 형성될 수 있음.

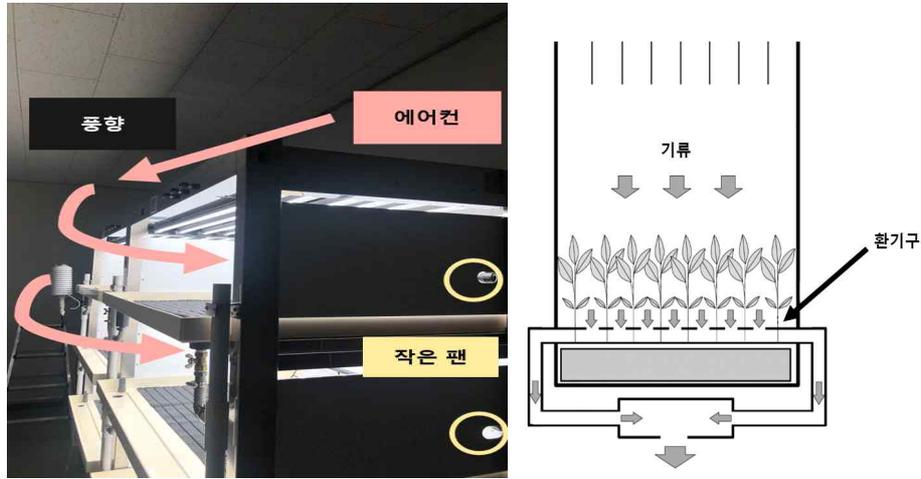


그림 49. 블로어(Blower) 시스템을 통한 모듈 내 미세기류 형성



그림 50. 블로어(Blower) 시스템을 통한 모듈 내 미세기류 형성 측면도

□ 도심형 스마트팜 비즈니스 영역 확대를 위한 모델

- 일본에서는 식물공장이 급속도로 확산되면서 식물공장 사업의 성공을 보장하기 위한 인력양성이 특히 중요해졌음.
- 지바시 환경보건과학센터(이하 '센터') 캠퍼스에는 환경제어시스템을 갖춘 온실 5개소(준폐쇄시스템)와 총 면적 10,666㎡의 PFAL 2개가 건설됐음.
- 센터와 일본 식물공장협회(JPFA)는 이러한 PFAL을 연구, 교육 및 훈련에 사용(그림 51)해 왔으며 센터는 식물환경디자인 프로그램의 일환으로 2011년부터 대학원생들을 대상으로 식물공장 교육프로그램을 진행하고 있음.
- 센터는 또한 해외 자매 대학의 단기 체류 학생들도 수용하며, 이들은 70~90일 또는 10~15일 동안 체류하며 프로그램에 참여할 수 있음.
- JPFA는 2009년부터 매월 워크숍, 견학, 강사 파견 등을 기획해 엔지니어, 연구자, 경영자를 위한 식물공장의 다양한 이슈에 대한 비즈니스 포럼 및 워크숍을 제공하고 있음.
- 식물공장에 대한 이슈가 증가하게 되면서 해가 거듭할수록 비즈니스 포럼에 참여하는 인원이 늘어나고 있음.

- 비즈니스 워크숍 또한 해가 거듭할수록 늘어나고 있는 추세이며, 2011년부터 매년 5,000여 명이 이곳을 방문하고 있음(표 30).

표 30. 일본의 식물공장 비즈니스 포럼 및 워크숍 연도별 참여 인원(출처:Kozai, 2019)

구분	JPFA's Business Forum (명)	JPFA's Business Workshops (명)
2009	-	835
2010	80	1220
2011	148	1044
2012	122	1146
2013	209	914
2014	240	1022



그림 51. 일본 지바시 환경보건과학센터에서 진행된 식물공장 단기 교육 프로그램

#### □ 네덜란드의 세계원예센터

- 네덜란드 시설원예중심지인 웨스트랜드(Westland)에 위치한 세계원예센터는 2001년 6개 기업의 전시를 목적으로 시작했는데 이후 기업체, 전문대학, 정부가 새로운 교육, 전시, 연구를 목적으로 2018년 3월에 완성하였음.
  - 이 시설은 그린포트원예캠퍼스(Greenport Horti Campus)의 일부로 크게 교육 및 전시실(약 3,000평), 연구동(약 2,000평)으로 구성되어 있음.
  - 교육 분야는 학생 및 방문자들의 교육을 실시하고 있는데 엠비오 웨스트랜드(MBO Westland) 학생 300여 명이 2, 3, 4학년 과정 20개 과목을 수강함.
  - 연간 900명의 장단기 국내외 전문가 양성 교육을 진행하고 있으며 시설원예시장이 큰 중국인을 위한 3개월 특별과정이 추가로 설치되어 있음.
  - 교육 내용은 학생들에게는 시설에 관련된 육묘, 기후, 수분, 광, 작물 보호, 시비, 수확, 포장, 육종 등을 실습을 통하여 진행하고, 회사원 대상으로는 원예 관련 무역, 물류, 비즈니스, 엔지니어링 등의 현장 교육을 실시함.
  - 전시실은 130여 개 업체(자국 약 90%, 외국 약 10%)가 현재 개발된 품종, 원예용품, 시설관련 모든 기자재, 시스템, 로봇, 생물학적 방제나 비료 등을 작은 면적을 빌려서 전시하고 있으며, 모든 전시업체가 반경 10km 내에 있기에 발 빠른 영업성을 가지는 것이 특징임.
  - 연구동은 70명의 연구자가 연구하고 있으며 자체 또는 위탁연구를 수행함.
- 세계원예센터는 시설원예의 글로벌 지식 및 혁신센터로서 연구, 개선, 시연 및 교육이 독창적으

로 이루어지는 기관임.

- 세계 각국에서 최첨단 네덜란드 원예를 알고자 연간 약 25,000-30,000명이 방문하고 있음.
  - 모든 지식과 기술을 세계원예센터에서 얻는 것이 가능하며 세계원예센터에 참여하는 회사들은 세계적으로 널리 활동하고 있음(그림 52).
  - 세계원예센터의 모든 파트너가 세계적인 원예 분야의 대표적인 회사로 이루어져 있음.



그림 52. 세계원예센터의 국제협력과 국내외 사업상담(세계원예센터, (사)국제원예연구원)

#### □ 일본 및 네덜란드 사례를 비즈니스 영역 확대에 대한 시사점

- 전 세계 원예 분야에서의 가장 큰 과제는 단위면적당 생산량을 증가시키고, 작물 재배에서의 지속 가능한 방법을 도입 및 개선하는 것임.
  - 도심형 스마트팜을 통해 국내 농가들이 이러한 과제에 대한 해답을 찾을 수 있도록 비즈니스 영역을 구축해야 할 필요가 있음.
- 최고 수준의 생산성을 일궈내는 방법을 단순한 공식이 아닌 매우 복잡한 방법임.
  - 사례를 통해 알 수 있듯이 과제들에 대한 해답을 얻고자 여러 회사들이 비즈니스 포럼 및 워크숍에 참여하는 것을 알 수 있음.
  - 많은 회사들의 협력을 통해 높은 수준의 성취를 이룰 수 있음.
- 일본 및 네덜란드 사례를 통해 도심형 스마트팜 구축 시 비즈니스모델 또한 필수적으로 구축이 되어야 한다는 것을 알 수 있음.
  - 이는 국내 원예 산업의 발전을 도모할 뿐 아니라, 도시지역의 경제적 발전, 국내 기업 및 지방정부 등 여러 조직들이 비즈니스를 할 수 있도록 연결시켜 줄 수 있는 하나의 연결고리가 될 수 있음.

## 제4장 도심형 스마트팜 확산 전략

### 4.1. 도심형 스마트팜 경제적 운영 전략

#### 가. 도심형 스마트팜의 경제적 운영을 위한 시스템 설계

##### □ PFAL-D&M(설계 및 운영) 시스템

○ PFAL-D&M 시스템은 설계, 관리 및 데이터베이스의 세 부분으로 구성됨(그림 53).

○ PFAL-D(design) & M(management)의 소프트웨어는 PFAL-M(management) 하위시스템의 ‘생산 및 관리(PM)’의 ‘데이터 프로파일 및 업로드’ 부분을 제외하고 인터넷을 통해 사용할 수 있도록 ‘클라우드 서비스’ 영역에 저장됨.

##### □ PFAL-D(design) 하위 시스템

○ PFAL-D(design) 하위 시스템은 ‘요건, 제약 및 사양’, ‘건물 및 기초시설’, ‘시설 및 장비’ 및 ‘측정 및 제어’ 부분으로 구성됨.

○ 전체 PFAL-D(design) 하위 시스템은 ‘클라우드 서비스’ 영역에 저장됨.



그림 53. PFAL-D (design) & M (management) (Kozai et al., 2019)

- 데이터 프로파일 및 업로드 파트에는 두 가지 유형이 있음(그림 54).
  - 유형 A는 PFAL-M-PM-Data의 데이터 프로파일 및 업로드 부분이. 기본적으로 측정 및 제어 시스템과 분리되어 있는 기존 PFAL에 설치되도록 설계되었음.
  - 유형 A에서는 두 온도 센서가 정확도가 다를 수 있고 서로 다른 장소(예: 에어컨과 배양실 중앙)에 설치될 수 있기 때문에 두 센서 간에 측정된 온도 차이가 클 수 있음.
  - 이 경우 PFAL-M-PM-Data는 PFAL-M-PM-Data의 제어에 사용되는 온도 데이터를 수집할 수 없고, 다른 환경적 요인도 마찬가지임.
  - 유형 B는 데이터 프로파일 및 업로드 부분이 PFAL의 데이터 측정 및 제어 시스템에 내장된 새로 구축된 PFAL에 해당됨.
  - 제어에 사용된 공기 온도가 PFAL-M-PM Data 부분의 데이터베이스로 전송되고 제어에 사용된 공기 온도를 저장할 수 있기에 다른 환경적 요인을 원활히 제어할 수 있음.

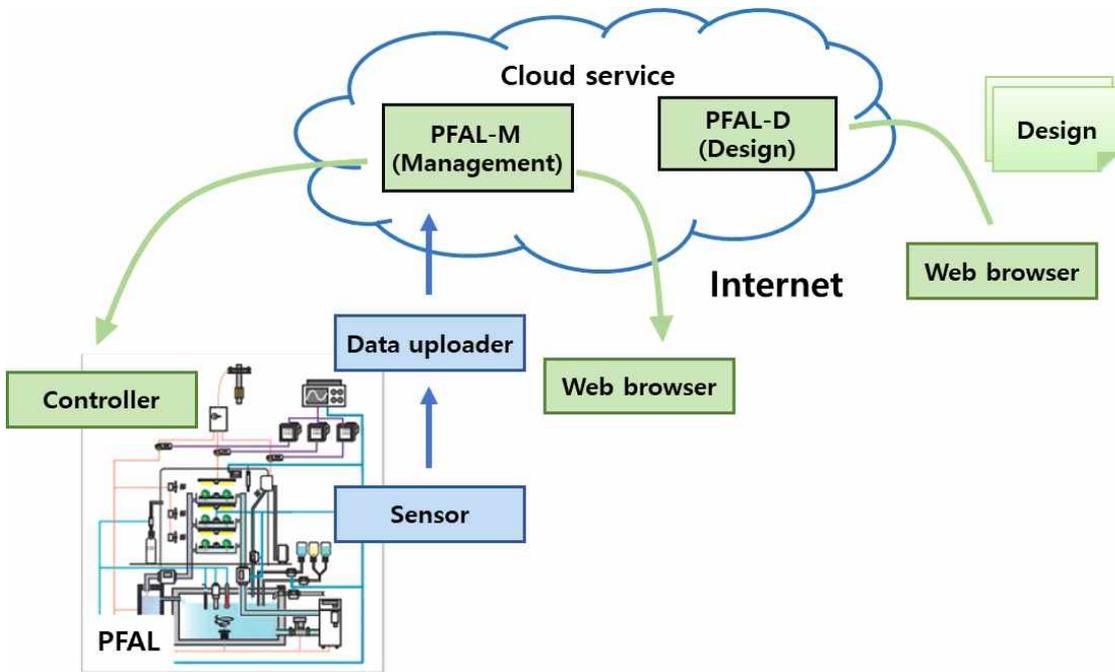


그림 54. PFAL-D&M 소프트웨어(Kozai et al., 2019)

□ 소프트웨어 구조(PFAL-M).

- PFAL-M 하위 시스템은 "계획 및 재정", "마케팅", "생산 및 관리(PM)" 및 "개발 및 리노베이션" 부분으로 구성됨.
- "계획 및 재정"는 PFAL의 비전, 임무 및 목표에 따라 실행됨.
- 마케팅에는 고객 개발, 제품 개발, 판매 프로모션, 제품 및 서비스 제공이 포함됨.
- PFAL-M-PM (생산 및 관리) 부분은 PM-Data와 PM-Control로 구분됨.
  - PM-Data는 (1) 데이터 수집 및 업로드, (2) 데이터 처리, 분석 및 시각화, (3) 진단 및 개선을 위한 권고의 세 부분으로 구분됨.
  - PFAL-M-PM-Data의 부분별로 수집된 데이터는 예를 들어 그림 53과 같이 각 인자 및/또는

인자 조합에 대해 처리, 분석 및 시각화됨.

- PFAL-M-Data로 수집된 데이터는 PFAL의 식물 생산 시스템의 원가 성과를 표현하기 위해 자원 사용 효율성(RUE)과 같은 다양한 지수를 계산하는 데 사용됨.
- PFAL-M-PM-C(Control, 조절) 부분은 (1) 생산 원가, 판매 및 수익, (2) 종묘 생산 및 재배, (3) 수확, 포장, 냉각 및 배송, 그리고 (4) 주문 수령, 주문 및 재고 관리로 구성됨.

□ 도심형 식물공장의 인공광 시스템(Lighting System: LS)

- 전기 비용은 생산 비용의 25-30%를 차지하며, 조명은 전기 비용의 70-80%를 차지함(표 31).

표 31. 요소별 연간 전기소비율(Ohyama and Kozai, 2014)

목적	비율(%)	장비
빛	80	인공광
온도 유지	16	히트펌프(에어컨)
기타	4	펌프(물), 팬 등

- PFAL을 구축한 후에는 LS의 하드웨어 개선이 어렵기 때문에 LS의 좋은 하드웨어 설계가 필수.
- LS 부분의 소프트웨어는 PFAL이 여러 매개변수의 영향을 받는 광 환경을 시뮬레이션하기 위해 사용자 정의할 수 있음.
- LS를 설계할 때 재배 선반 위의 PPFd의 공간 및 스펙트럼 분포는 재배 선반의 3차원 구조와 식물 군집의 광학적 특성에 영향을 받음.
- LEDs의 열 에너지원/싱크 설계는 LED의 온도에 영향을 미치므로 LED의 광합성 유효 광량자 속의 효율성에 영향을 미침(Mitchell et al. 2015).

□ LS의 PPFd의 균일 분배 설계 방법

- 재배 패널의 PPFd 분포는 PFAL-D&M(LS)을 통해 시뮬레이션할 수 있음(생산하고자 하는 작물별 최적 필요 광량 산출).
- 평균 PPFd는 모듈 안 흰색 반사체(그림 55)를 사용하여 증가시킬 수 있으며, 이는 시뮬레이션을 통해 확인할 수 있음.
- 광 시뮬레이션을 이용하면 광원에서 방출되는 빛 에너지 대비 식물이 받는 빛 에너지의 비율도 추정할 수 있으며, 소프트웨어 도구는 PPFd의 식재 밀도, 수직 분포 등을 설계하는 데 유용함.

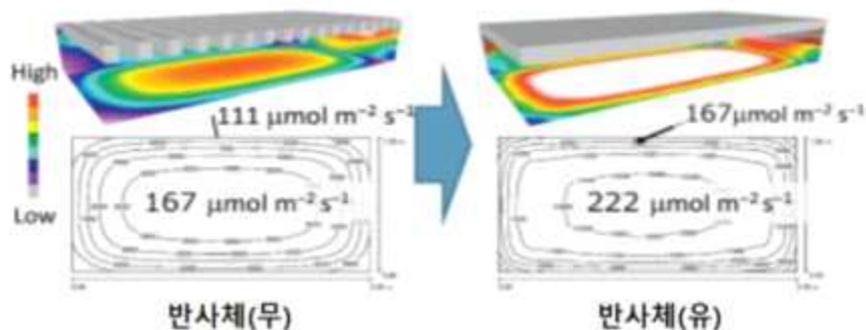


그림 55. 반사체를 이용한 PPFd 시뮬레이션(Kozai et al. 2019)

- 전기 요금 최소화를 위한 인공광 이용 스케줄링(조명 시간표)
  - 인공광 시간 스케줄링은 기본적으로 전력 소비량(kWh)의 적분에 비례하는 전기 요금에 상당한 영향을 미침.
  - PFAL-D(LS)를 이용하면 조명과 에어컨에 가장 낮은 전기 요금을 제공하는 조명 시간표 후보군들을 도출할 수 있음.
- 전력 소비 및 전력 소비 감소
  - PFAL-M-PM-Data 부분은 전력 소비를 포함한 PFAL의 속도 및 상태 변수에 관한 데이터 수집, 처리 및 시각화를 처리함.
- 일일 전력 소비량 변화
  - 시간당 전기 요금은 한국의 시간대와 계절에 따라 다름.
  - 특히, 일본의 경우 여름 13:00~16:00 중 가장 높으며, 다음날 아침 22:00~8:00(야간 약 50% 할인)에 가장 낮음.
    - 한국 또한 시간대별 전기 요금을 분석할 필요가 있으며, 일본과 비슷한 경향일 것으로 추정됨.
  - 따라서, 광 주기를 22:00-8:00(10시간)으로 설정하고 나머지 6시간을 22:00 이전 및/또는 8:00 이후로 설정하면 전기 비용을 절감할 수 있으므로 13:00-16:00의 기간을 피할 수 있음.
  - 일일 전력 소비량의 월 합계는 대부분 인공과 이용시간, 에어컨의 COP<sup>8)</sup> 및 시간대별 전기 요금 시스템에 의해 결정됨.
- 내부와 외부의 온도 차이에 영향을 받는 COP(그림 56)
  - COP 또는 에어컨의 전기 에너지 사용 효율은 여러 요인에 의해 영향을 받음.
  - 그림 57은 욕조실 내부와 외부의 공기 온도 차이에 영향을 받는 여름철 COP를 보여줌.
  - 실내 온도는 항상 22°C이기 때문에 외부 온도가 증가하면 COP가 감소함.
  - COP는 겨울에 약 10으로 증가하는데, 내부 온도가 외부 온도보다 5-25°C 높기 때문임.
  - COP가 낮을수록 에어컨 전기 소비량이 높아지므로 특히 13:00~16:00에 비용이 많이 소요됨.
  - 야간 할인이 안 되더라도 외기온이 낮보다 낮을 때 인공광을 이용하는 것이 중요함.
- 실제 냉각 부하에 영향을 받는 COP
  - COP는 에어컨의 냉각 용량에 대한 실제 냉각 부하 비율에도 영향을 받음(그림 57).
  - COP는 냉각용량비율이 0.7-0.8일 때 까지 증가하지만 0.8을 초과하면 감소함(Sekiyama and Kozai, 2015).
  - 실제 냉각 부하는 LED, 공기 순환 팬, 양액 펌프에 의해 소비되는 총 전력으로 추정되었음.

8) COP(coefficient of performance), 냉각 부하 대 에어컨의 전기 소비량 비율

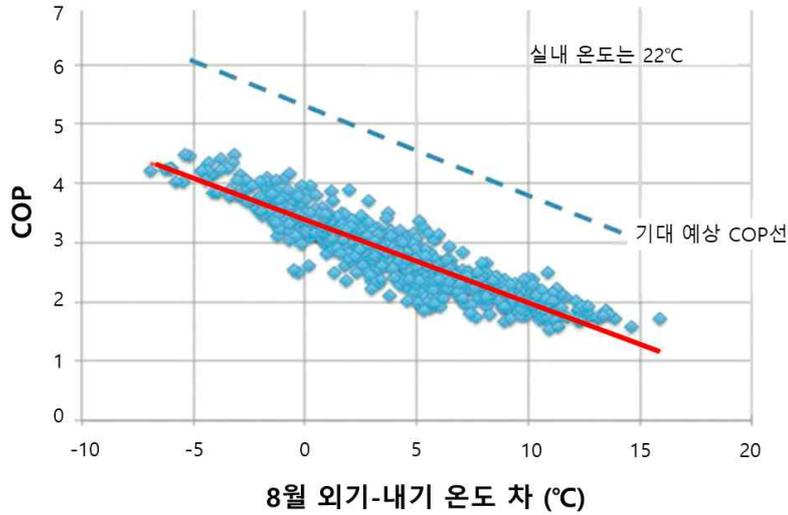


그림 56. PFAL 외기 및 내기 온도차에 따른 COP (Kozai et al. 2019)

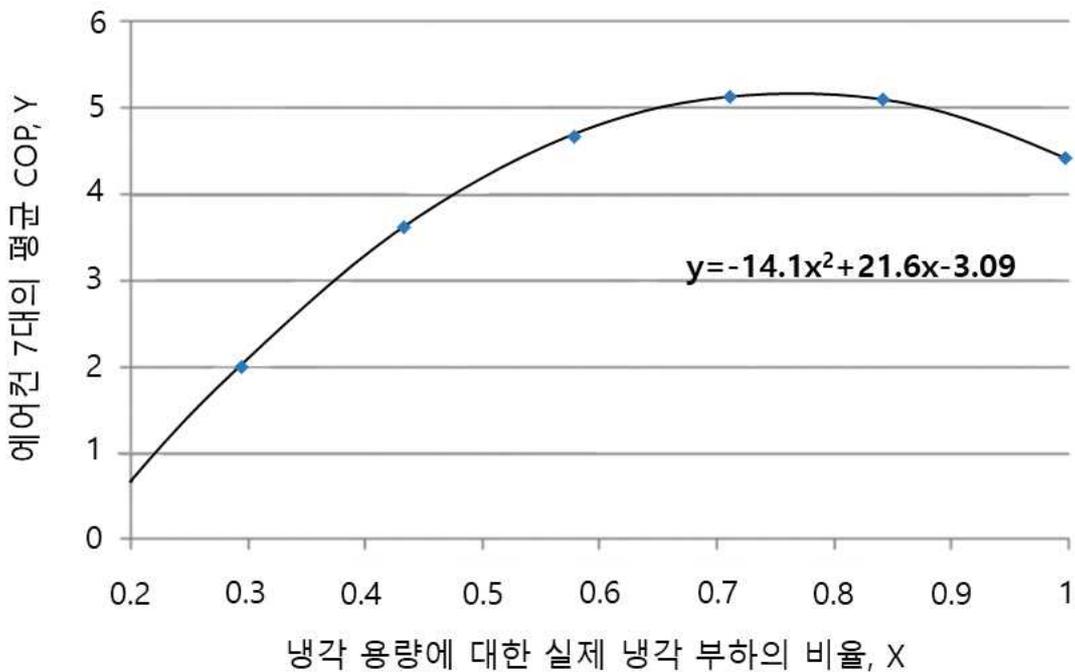


그림 57. 실제 냉각 부하 비율에 따른 에어컨 평균 COP (Kozai et al. 2019)

- 동일한 온도 차이에 대한 COP 변동은 주로 냉각 용량에 대한 실제 냉각 부하 비율에 의해 발생하며, 이 비율을 0.7-0.8 범위로 유지하기 위해 작동 중인 에어컨 수를 조정해야 함을 나타냄.
- 그림 58은 각 에어컨 10개 또는 4개의 일일 전력 소비 경로를 보여줌.
- 1시부터 17시까지 10개의 에어컨이 켜졌지만, 17시 이후에만 4개의 에어컨이 켜져 있음.
- 두 경우 모두 설정 지점인 22°C에서 공기 온도를 제어함.
- 작동 중인 에어컨의 평균 COP는 17:00 이후가 20-25% 더 높아졌음.
- 높은 COP를 달성하고 전력 소모를 줄이기 위해서는 실제 냉방 부하에 따라 가동 중인 에어컨

수를 제어하는 것이 중요함을 시사함.

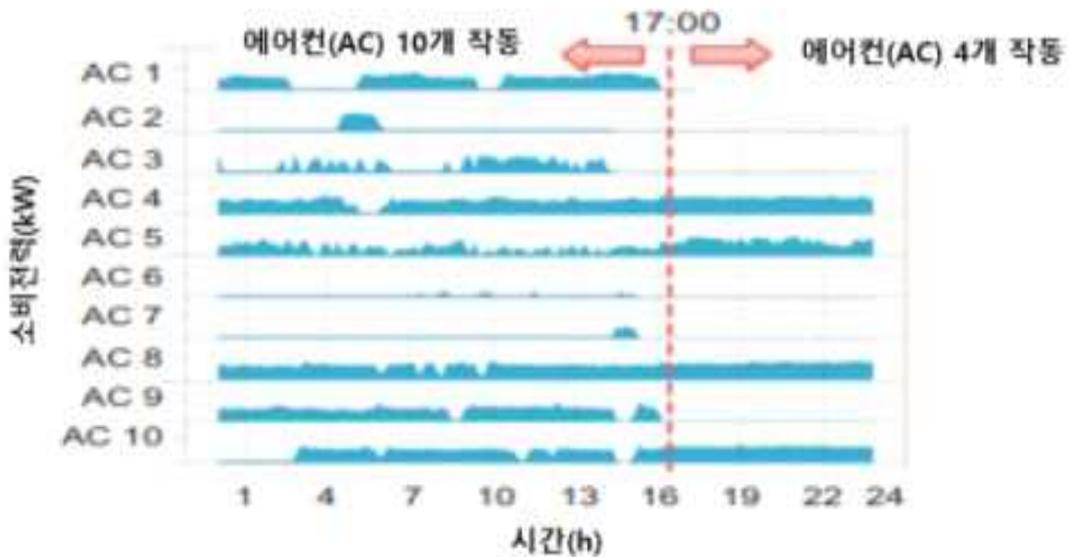


그림 58. 시간에 따른 작동 10개 및 4개 에어컨의 평균 COP(Kozai et al. 2019)

□ 디스플레이 화면의 구성요소별 전력 소비 시각화(그림 59)

- 그림 60은 PFAL-M&D-M에 의해 자동으로 생성된 일일 보고서로서 컴퓨터 디스플레이 화면의 구성 요소에 의한 전력 소비의 예를 보여줌.
- 이러한 종류 보고서는 매주, 매월, 매년 생성되거나 PFAL 관리자의 요청에 따라 생성될 수 있음.
- 보고서를 통해 PFAL 관리자는 PFAL의 상태와 진행 상황을 파악하고 해결 또는 개선이 필요한 문제를 쉽게 식별할 수 있음.

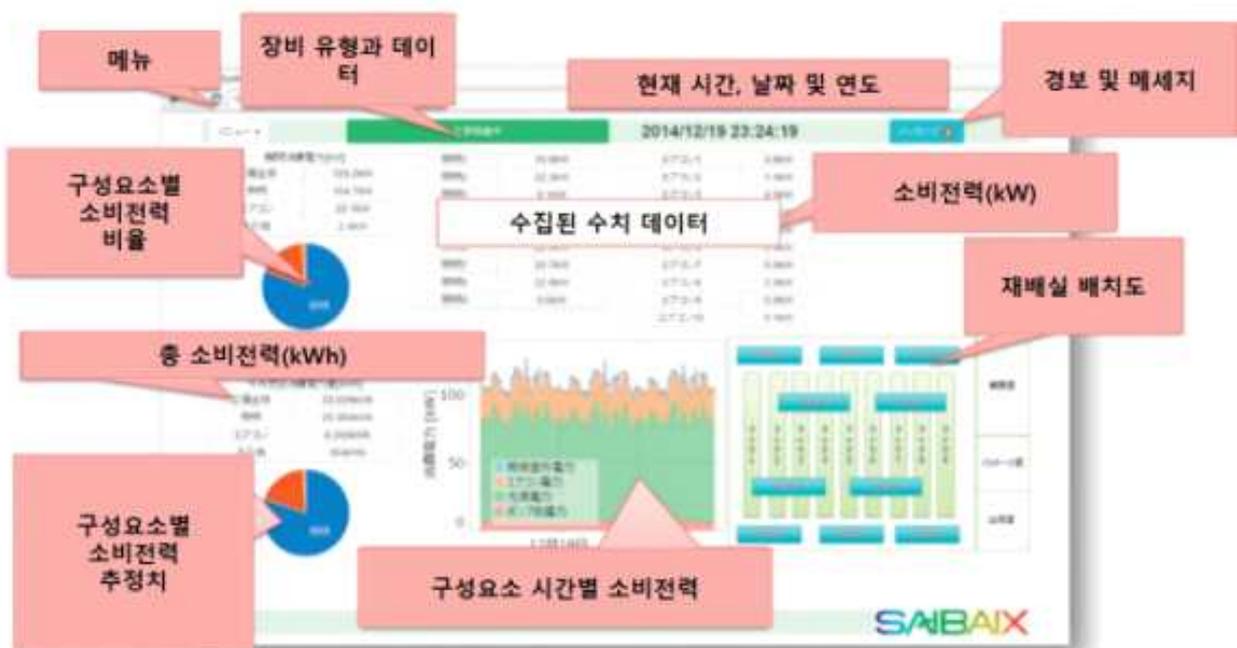


그림 59. PFAL 구성요소별 전력 소비의 시각화(Kozai, 2019)

- 레이더 차트는 PFAL의 전반적인 성능을 한눈에 이해하는 데도 유용함.
- 그림 60은 전기 비용 관리의 전반적인 성능을 보여주는 전형적인 레이더 차트임.

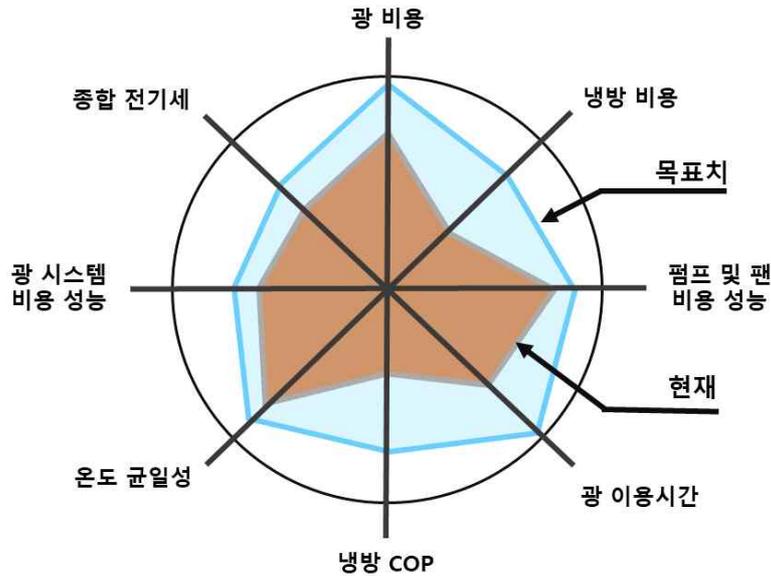


그림 60. 비용관리 레이더 차트

□ 식물의 순 광합성, 암호흡 및 수분섭취율

- 육묘실 CO<sub>2</sub>, 물, 에너지 균형 방정식을 바탕으로 육묘실 내 식물의 순광합성률, 암호흡률, 수분 흡수율 등의 시간당 및 일별 변화를 추정하여 시각화할 수 있음.
- 이러한 데이터는 총 예상 잎 면적과 관련이 있을 수 있으며 식물의 광합성, 암호흡 및 전이에 대한 수학적 모델의 매개변수 값을 결정하는 데 사용될 수 있음.

□ 공기 온도의 3차원 분포

- 식물의 성장은 온도의 직접적인 영향을 받음.
  - 균일화된 식물 성장을 위해서는 육묘실 전체의 균일한 공기 및 식물 온도 분포를 달성하는 것이 필수적임(Joseph et al., 2019).
- PFAL-M-PM 데이터는 100~200개의 서로 다른 측정 지점에서 육묘실 온도 데이터를 수집하고 배양실 온도의 3차원 분포를 제시할 수 있음.
- 그림 61는 3차원 대기 온도 분포와 함께 배양 단계의 레이아웃을 보여주는 예시임(시간별, 일별, 주별 평균일 수 있음).
  - 이러한 공기 온도의 불균일한 분포는 주로 에어컨 공기 순환팬의 공기 흐름이 불균일하고 램프에서 발생하는 열에너지에 의한 자연대류, 반사체가 있는 모듈 선반에 의한 공기 흐름 저항 등이 원인임.
  - 공기 온도의 3차원 고르지 못한 분포가 가시화되면 작동 중인 공기 순환 팬의 방향과 개수를 변경하여 비교적 쉽게 분포를 개선할 수 있음.
- 벽, 바닥, 모듈 선반 및 식물의 표면 온도를 측정하기 위한 열 화상 카메라는 불균일한 온도 분포와 결로의 원인이 될 수 있는 지점을 찾는 데도 유용함.

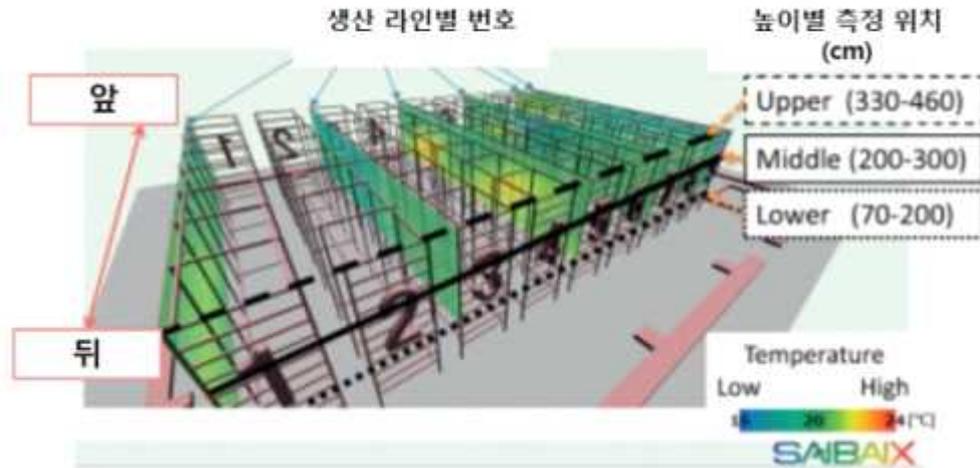


그림 61. PFAL 3차원 온도 분포(Kozai et al., 2019)

□ 식물 성장 곡선에 대한 식물 성장 측정, 분석 및 관리 값 결정

- 식물군집에서의 식물 성장(신선한/건조한 무게, 잎 면적, 부피 등)은 그림 62과 같이 로지스틱 성장 곡선으로 잘 표현됨.
- PFAL-M-PM은 식물 생장률 측정값을 바탕으로 식물 성장곡선의 매개변수 값을 찾을 수 있음.
  - 방정식에서 매개변수 값  $t$ ,  $k$ ,  $r$  및  $S_{max}$ 는 각각 시간,  $t$ 에서의 초기 엽면적, 상대 성장률 및 최대 엽면적("e"는 지수 함수)을 나타냄.

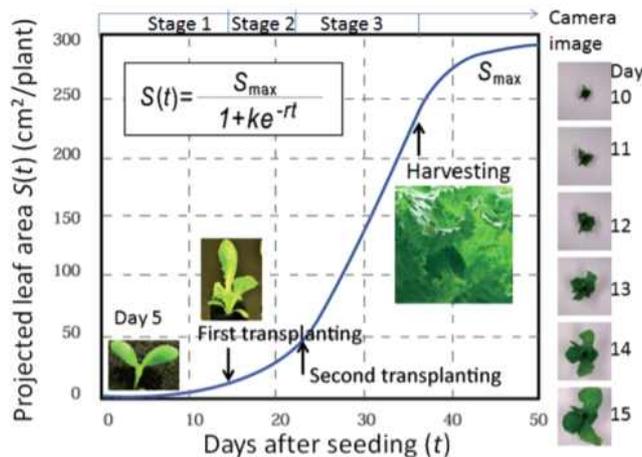


그림 62. 식물 성장 곡선 및 시기별 엽면적 사진(Kozai et al., 2019)

○ 이식 날짜 결정

- 그림 63은 첫 번째와 두 번째 이식 날짜가 예상 엽면적의 성장에 미치는 영향을 보여줌.
- 예상 면적 비율이 100%에 도달하면 성장이 지연되고 포화 상태가 됨.
- 이 날짜 이후 첫 번째 및/또는 두 번째 이식을 수행하면 생산성이 저하됨.
- 또한, 주변 식물과 겹치기 때문에 이식 작업 시간이 늘어남.
- 반면, 100% 미만 예상면적에서 이식을 할 경우 육묘공간 사용 효율이 낮아져 생산성이 떨어짐.
- PFAL-MPM은 생산 관리자가 생산성을 최적화하기 위해 이식 날짜를 결정할 수 있도록 지원함.

- 여러 정보들을 이용하여 성장 단계별 트레이 및 배지의 구(구멍) 수를 달리하여 육묘 패널 수 또한 결정할 수 있음(Craver et al., 2016).

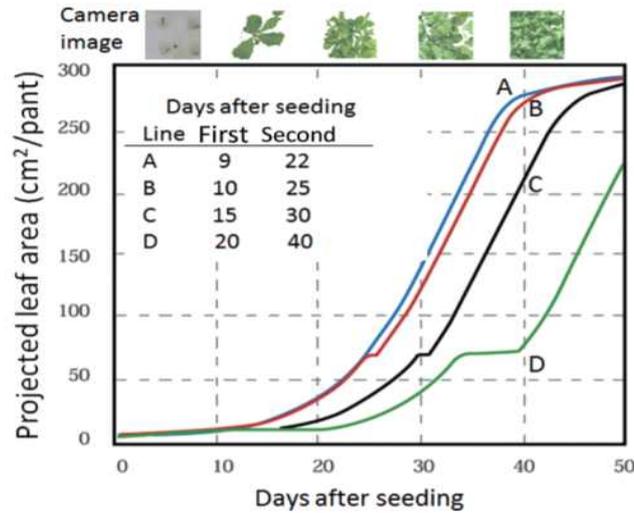


그림 63. 이식 시기별 식물 성장곡선(Kozai et al., 2019)

- PFALM-PM을 통한 수확 및 이식 시기를 예측하여 생산성을 극대화하고 노동력을 효율적으로 개선 시킬 필요가 있음.
  - 그림 64와 같이 디지털 이미지 인식 및 연속 무게 측정을 통해 수확 및 이식을 자동화시킬 필요가 있음(Patel et al., 2021).
- PFAL-D&M은 육묘실을 설계하고 PFAL의 식물 생산 프로세스 및 비용관리에 유용할 것이고 이는 경제적 운영 전략에 꼭 필요한 요소임.
- 가까운 미래에 PFAL-D&M은 식물 생산 공정을 관리하는 데 사용되는 소프트웨어의 약 70%를 커버할 수 있을 것이지만 이루어야 할 과제가 많으며, 기존 시스템보다 훨씬 쉽게 이용할 수 있는 완전히 새로운 PFAL 재배시스템을 설계하고 개발해야 함.

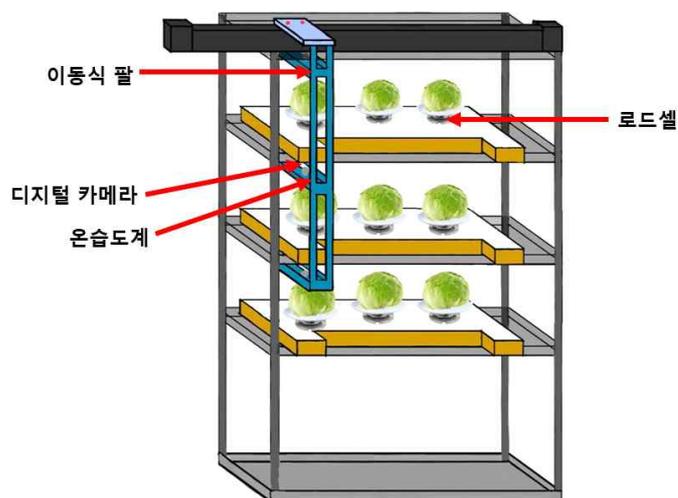


그림 64. 디지털 이미지 인식과 연속 무게 측정을 통한 수확 및 이식 자동화

## 나. PFAL의 경영사례

### □ 베지텍스

- 경영 사례 조사(김연중 등, 2013, 식물공장의 전망과 정책)에 따르면, 총 설치비 97천만 원을 투자하여 PFALs 600m<sup>2</sup>(약 200평/동)을 시설하였음(표 32).
- 8단의 모듈로 되어 있으며, 광원은 형광등으로 총 2,160개 설치하였음(10,000원/형광등+안정기 등 포함 1개).
- 생산 작물은 상추, 청경채 등으로 파종 후 30-35일 후 수확하여 판매함.
- 주 판매처는 학교이며, 병원, 호텔 및 수출 등으로 다변화를 시도하였으나 현재는 경영의 어려움을 겪고 있음.

표 32. 베지텍스 일반 현황(김동익 등, 2014, 인공광형 식물공장 모델 및 매뉴얼 연구)

구분	PFALs
면적	200평(평당 400만 원, 토지구입비 없음)
재배면적	다단 입체형(8단 × 10줄: 2만 7천개의 지점), 1단 180cm × 12m
재배작물	상추, 청경채
출하처	학교급식, 병원, 호텔, 수출 등
광원	형광등 1단에 27개, 8단, 10라인(단가: 10,000원)
부대시설	파종장, 육묘장, 재배장, 작업장, 냉장고, 양액관리실
기계장치	CO <sub>2</sub> 공급장치, 양액공급장치(순환식), 육묘 기계, 포장기, 전기 냉난방기
운영비(월)	전기로 450만 원, 종자비 10만 원, 양액비 700만 원, 수도 요금 200만 원
기타 비용	운송용 트럭
직원	상시고용 2명, 일용직 6명(시급: 6,000원)

- 설치비 97천만 원의 구성은 광원설비가 21.6%로 가장 많은 비중을 차지하고 있으며, 공조설비 20.6%, 골조 설치비 16.5% 순임(표 33).
- 운영비는 감가상각비 9천 7백만 원(설치비의 10%), 자본이자 4천 850만 원, 운영비 2억 5천만 원 비용 총액은 3억 9천만 원으로 추정됨.
- 생산한 상추가 전량 판매됐을 경우 수익이 발생했으며 판매망이 불안하거나, 생산량의 80% 밖에 판매하지 못하면 수익이 '0'도 될 수 있는 구조임.
- 경영성파로 1년 수익은 1억 710만 원으로 추정됨.
- 14년 연간 생산량은 504,000주, 포기당 단가 950원으로 연간 478,800천 원의 조수익이 발생함.
- 비용 중 설치비는 200평에 9억 7천만 원으로 감가상각비 97,000천 원, 자본이자 48,500천 원, 운영비 250,200천 원, 총 비용 395,700천 원(1년), 수익은 1년 기준 200평에 83,100천 원으로 평당 약 416.5천 원임.

표 33. 베지텍스 시설 설치 금액(김동익 등, 2014, 인공광형 식물공장 모델 및 매뉴얼 연구)

구분	금액(천 원)	비중(%)	비고
골조설치비	160,000	16.5	판넬 200평 설치비 평당 80만 원
모듈 설비	75,000	7.7	ALP 구조
재배상 설비	105,000	10.8	ABS CNC 특허적용
광원 설비	210,000	21.6	FL Light 적용
공조 설비	200,000	20.6	Auto control
관수/양액 설비	90,000	9.3	정밀제어 적용
환경제어	70,000	7.2	정밀센서, 모니터링
전기 설비	40,000	4.1	정밀센서, 모니터링
기타 설비	20,000	2.1	정밀센서 모니터링
합계	970,000	100.0	

□ 이음

- 경영 사례 조사(김연중 등, 2013, 식물공장의 전망과 정책)에 따르면 총 설치비 4억 5,300만 원을 투자하여 식물공장 600m<sup>2</sup>(약 200평/동)을 시설하였음(표 34).
- 다단 입체형 방식의 식물공장으로 4단으로 되어 있으며, 광원은 LED로 총 1,040개 설치하였음.
- 운영비는 78,180천 원/년으로 추정되며, 인건비가 66.5%로 가장 많고, 전기세 12.5%, 그 외 자재비 순임.
- 연간 수익(200평 기준)으로 1억 7,081만 원(평당 85만 원)의 수익 추정됨.
- 1일 생산량 728포기, 1년 생산량 262,080포기이며, 판매가격은 1,100원/100g 임.
- 연간 조수익은 2억 8,829만 원이며, 연간 비용은 1억 1,748만 원(감가 상각 2,265만 원, 자본 이자 2,265만 원, 운영비 7,218만 원)으로 생산 물량 전량 판매 가정하 조수익은 1억 7,081만 원이며, 평당 85만 원 수익 발생함.

표 34. 이음 일반 현황(김동익 등, 2014, 인공광형 식물공장 모델 및 매뉴얼 연구)

구분	PFALs
면적	50평(평당 666만 원, 토지구입비 없음)
재배면적	50평 × 4단 = 200평
재배작물	상추, 케일, 청로메인, 생채, 적겨자, 비트 등 쌈채소
출하처	이마트, 직영음식점, 직판장
광원	LED 1단에 20개, 4단, 13라인
운영비(월)	전기료 70-80만 원, 종자비 30만 원, 양액비 6-7만 원, CO2 4만 원, 잡비 20-30만 원
인건비	400만 원/월

□ (주)그린플러스

- 경영 사례 조사(김연중 등, 2013, 식물공장의 전망과 정책)에 따르면 총 설치비 22억 8백만 원을 투자하여 식물공장 약 500평 설치하였음(표 35).
- 설치비 중 시스템공사가 69.7%인 15억원, 온실공사가 29.9%인 6억 4천만 원을 차지하고 있음.
- 운영비는 연간 6억 617만 원으로, 인건비가 51.1%로 가장 많이 차지함.

- 1년간 수익은 12억 7천만 원으로 추정되며, 포기당 1,180원 거래 기준으로 1년간 조수익 22억 896만 원임.
- 연간 비용 9억 3,747만 원으로 감가상각비 2억 2,087만 원, 자본이자 1억 1,043만 원임, 운영비 6억 617만 원임.

표 35. 그린플러스 일반 현황(김동역 등, 2014, 인공광형 식물공장 모델 및 매뉴얼 연구)

구분	PFALs
면적	500평
재배면적	체인 재배시스템 (체인길이 222,000cm, 배드간격 530cm, 배드갯구 418개, 배드길이 4,960cm, 식재간격 200cm, 1열 포기 24, 포기수량 48, 대당 생산 포기량 13천주/월, 설비 대수 12대, 년 생산량 1,872,000주)
재배작물	상추 등 엽채류와 과채류
출하처	세이프 푸드, 롯데마트, 현대그린푸드, 현대백화점 등
광원	LED, 나트륨등
운영비(월)	전기료 5,405만 원, 종자비 453만 원, 양액비 893만 원, 수도요금 500만 원
직원	대표이사 1명, 영업/관리직원 1명, 재배/시설기술자 1명, 숙련작업자 2명, 작업자(정규직) 2명, 파트타임 4명

#### 다. 도심형 스마트팜 확산을 위한 경제적 전략

##### □ 확산 전략을 위한 경제적 전제조건

- 수직농장의 생산비용 구성비와 앞선 사례들을 참고하여 생산 원가 비율은 초기투자 감가상각 30%, 전기 및 수도 20%, 인건비 20%, 자재 20%, 유지 보수 및 보안 관리 10%를 기준으로 하며, 초기투자 비용 회수 기한은 최소 6년에서 최대 10년으로 함(그림 65).
- 기존 PFALs의 경우 생산 원가 비율에 인건비가 50% 이상을 차지함.
- 이는 PFALs의 완전 자동화가 아직 덜 이루어졌으며, 자원 이용 효율이 떨어지기 때문에 연가 비용이 조수익의 약 50% 차지하고 있음.
- 기존 PFALs의 경우 초기투자 감가상각이 약 10% 차지하며, 초기 투자 비용을 회수하더라도 사례에서 볼 수 있듯이 생산량 전량 판매 기준으로 수익이 발생하기에 생산 원가 비율 조절할 필요가 있음.
- 구성 요소 별 생산 비용과 도매가격의 비율은 주로 지역 경제, 사회, 문화 및 기술에 따라 다르게 나타남.
  - 도심형 스마트팜 내 PFAL은 생산현장이 소비현장과 가까운 도시지역(지역소비를 위한 현지생산)에 가장 적합함.
  - 신선한 농산물의 운반에 필요한 연료, 시간 및 노동력을 절약할 수 있으며, 생산 원가를 낮출 수 있음(Anpo et al., 2018).
  - 미생물의 균집 형성 단위가 낮아서 장기간 보관 가능하며, PFAL에서 재배되는 상추가 밭에서 재배되는 것보다 유통기한이 2배 가량 긴 것으로 추정됨(Khare, 2017).

- 재배작물은 엽채류, 기능성 작물 등 무농약 친환경 농산물을 강조하여, 건강 기능성 식품을 강조하여야함.
- 일본 내에서는 가격이 20-30% 높은 새로운 시장이 생겼으며, 도심형 스마트팜을 통해 기존의 농산물들과는 다른 시장을 개척 해야함.



그림 65. 수직농장의 생산비용 구성비(예).(손정의 등, 2021, 삼고 시설원예학)

□ 가상모델의 경제성 추정

- 앞에서 검토한 PFALs 운영 사례를 참고하여 수익 창출에 대한 추정을 실시하였음(표 36).
- 신시장 개척을 전제 조건 하 ①도심형 스마트팜 생산 농산물 가격을 기존 농산물 가격보다 25% 높게 추정한 판매가격 전략 및 ②비용절감을 위한 기술개발전략이 필요함.
  - 도심형 스마트팜 가모델 내 도심형 스마트팜 R&BD Center를 통한 수소에너지, 신재생에너지 (PFALs 및 도심 내 발생 폐기물 등) 기술 개발, AI·Big data 등을 통한 완전자동화가 이루어져야함(Graamans. 2018).
  - 인건비에서 약 67% (기존 약 60% → PFALs 20%)를 줄일 수 있으며, 이외 전기, 수도 및 자재비에 대한 비용을 줄일 수 있을 것으로 기대됨(PFAL D&M 참조).
  - 농산물 판매 가격은 25% 증가, 연간 비용은 50% 감소할 것으로 추정하였음.
- 기존 사례에 2가지 전략을 대입하여 경제성을 추정하였음.
- 전략 수립 결과 총 수익이 약 80% 상승한 것으로 추정됨.
- 도심형 스마트팜 가모델 기준, 단위 면적당 높은 연간 생산성으로 15단으로 구성된 PFALs의 연간 생산성은 대략 200kg/m<sup>2</sup>로 추정됨(시장성 있는 농산물의 신선 중량 기준).
  - 기존 사례 500평 기준 생산성 반영 시 수익은 극대화될 것으로 예상됨

표 36. 도심형 스마트팜 기존 사례 및 전략 수립(김연중 등, 2013, 식물공장의 전망과 정책)

기존				전략 수립			
조수익		비용 (천 원)	수익 (천 원/평)	조수익		비용 (천 원)	수익 (천 원/평)
단가 (원/포기)	조수익 (천 원/년)			단가 (원/포기)	조수익 (천 원/년)		
1,180	2,208,960	937,473	1,271,487	1,475	2,761,200	468,736	2,292,464

□ 가상 모델을 통한 초기 투자비용 회수

- 기존의 총 설치비는 22억8백만 원이며, 초기투자 감가상각비는 10% 기준 10년으로 보았음.
- 전략 수립 결과 초기투자 감가상각비는 총 설치비의 25%까지 늘릴 수 있었으며, 늘리게 될 경우 4년이라는 회수 기한이 걸림.
  - 기술개발이 완전하게 이루어졌을 경우를 추정한 것으로 단계적으로 개발이 이루어질 경우를 감안하여 최소 6년의 회수 기한이 걸릴 것이라 추정됨.
- 도심형 스마트팜에 적합한 엽채류(적상추, 청상추, 미나리, 양상추)에 대한 경영 분석 시뮬레이션 결과는 다음과 같이 나타났음(표 37-40).

표 37. 도심형 스마트팜 적상추 재배 시 경영 분석 시뮬레이션

구분		단위	
면적	건물 면적	m <sup>2</sup>	1,000
	재배 면적(8단 모듈)	m <sup>2</sup>	2,613
생산량	연 생산량	kg/년	289,655
전력비	기본요금 + 소비전력비	천 원/년	81,670
수도비	소비수도비	천 원/년	3,630
소모비	종자료, 양액, CO <sub>2</sub> 공급비, 파종용 스펀지, 자본이자 등	천 원/년	130,520
인건비	직원 10명	천 원/년	294,918
감가상각비	초기 투자 비용의 10%	천 원/년	146,703
경비합계		천 원/년	657,441
1kg 생산코스트		원	2,270
1kg 단가(평년)	상품	원	8,593
1kg 단가(전략 수립)	최상품	원	10,741

\* 생산단가는 농축산물소득잡료집을 참고하였음.

표 38. 도심형 스마트팜 청상추 재배 시 경영 분석 시뮬레이션

구분		단위	
면적	건물 면적	m <sup>2</sup>	1,000
	재배 면적(8단 모듈)	m <sup>2</sup>	2,613
생산량	연 생산량	kg/년	289,655
전력비	기본요금 + 소비전력비	천 원/년	81,670
수도비	소비수도비	천 원/년	3,630
소모비	종자료, 양액, CO <sub>2</sub> 공급비, 파종용 스펀지, 자본이자 등	천 원/년	130,520
인건비	직원 10명	천 원/년	294,918
감가상각비	초기 투자 비용의 10%	천 원/년	146,703
경비합계		천 원/년	657,441
1kg 생산코스트		원	2,270
1kg 단가(평년)	상품	원	7,703
1kg 단가(전략 수립)	최상품	원	9,629

표 39. 도심형 스마트팜 미나리 재배 시 경영 분석 시뮬레이션

구분		단위	
면적	건물 면적	m <sup>2</sup>	1,000
	재배 면적(8단 모듈)	m <sup>2</sup>	2,613
생산량	연 생산량	kg/년	289,655
전력비	기본요금 + 소비전력비	천 원/년	81,670
수도비	소비수도비	천 원/년	3,630
소모비	종자료, 양액, CO <sub>2</sub> 공급비, 파종용 스펜지, 자본 이자 등	천 원/년	130,520
인건비	직원 10명	천 원/년	294,918
감가상각비	초기 투자 비용의 10%	천 원/년	146,703
경비합계		천 원/년	657,441
1kg 생산코스트		원	863
1kg 단가(평년)	상품	원	2,251
1kg 단가(전략 수립)	최상품	원	2,814

\* 생산단가는 농축산물소득잡료집을 참고하였음.

표 40. 도심형 스마트팜 양상추 재배 시 경영 분석 시뮬레이션

구분		단위	
면적	건물 면적	m <sup>2</sup>	1,000
	재배 면적(8단 모듈)	m <sup>2</sup>	2,613
생산량	연 생산량	kg/년	289,655
전력비	기본요금 + 소비전력비	천 원/년	81,670
수도비	소비수도비	천 원/년	3,630
소모비	종자료, 양액, CO <sub>2</sub> 공급비, 파종용 스펜지, 자본 이자 등	천 원/년	130,520
인건비	직원 10명	천 원/년	294,918
감가상각비	초기 투자 비용의 10%	천 원/년	146,703
경비합계		천 원/년	657,441
1kg 생산코스트		원	2,156
1kg 단가(평년)	상품	원	-
1kg 단가(전략 수립)	최상품	원	-

\* 생산단가는 농축산물소득잡료집을 참고하였음.

## 다. 도심형 스마트팜 규모, 기능 등 기본구성과 경제적 전략 검토

### □ 도심형 스마트팜 규모, 기능 등 기본 구성(표 41)

- R&D와 기술확산 차원의 R&BD 개념의 창업보육을 적용하고, 전문 인력을 양성할 수 있어야 함.
- 도심에 위치하고, 공항, 지하철 등이 10분 거리에 있는 등 뛰어난 접근성, 편리한 교통망을 갖추고 있으며 아파트 주거지역, 대학로, 대형문화·상업지구, EXCO, 산업단지 등이 인접해야함.
- 최소 자원 소비와 태양, 바이오매스, 유체, 열 및 기계적 에너지의 최대 사용으로 생산물의 최고 생산량과 품질에 달해야함.
- 최소 생산 비용과 폐기물 배출을 초래하는 에너지 자율적이고 생태학적으로 지속 가능하며, 경제적으로 실행이 가능하도록 에너지 센터를 구축해야함(Slath et al. 2019).
- 교육 및 학습의 목적으로 식물 생장의 원리, 구조, 생산 및 관리에 대한 절차, 에너지/물질 균형 등을 사용자 및 소비자가 이해할 수 있도록 지역 시민대학이 필요함.

### □ 기업 유치 및 기업지원 기관의 참여 가능성

- 초기 개발사업의 제공 가능한 면적을 기준으로 엑셀러레이터, 벤처캐피탈, 메이커스페이스 및 특허·법무·노무·회계 관련 다수 기업의 투자 및 참여·입주의사 조사를 통해 입지·수요 분석을 실시 하여야함.
- 입주 기업의 투자연계 접근성을 높이기 위해 투자 기관을 위한 센터 운영이 필요함.
- 기관과의 연계를 통한 입주 기업·기관 지원계획을 세워야함.
  - 입주기업이 필요로 하는 모든 서비스가 한 자리에서 가능하도록 Business Processing Platform 구축이 필요함.
  - 도심형 스마트팜 내 새롭게 구성되는 기업협력센터, 지역성장협력센터 등을 통해 내·외부 기관 연계가 필요함.
  - 인적자원의 원활하고 효과적 관리를 위해 지역 연구·기술 전문 인력 네트워크를 도입·활용해야함.

표 41.. 도심형 스마트팜 조성계획(안)

구분	SECTOR-1	SECTOR-2	SECTOR-3	SECTOR-4	SECTOR-5
거점시설	도심형 스마트팜 Main Center	도심형 스마트팜 R&BD Center	도심형 스마트팜 Startup & Business Center	도심형 스마트팜 Plaza	도심형 스마트팜 Garden
개발방향	PFALs IR Center 미디어스튜디오 소상공인농산물센터 지역시민대학	기업·기관 연구소 에너지센터 AI.Data 센터	Business Processing Platform 문화예술창업	백화점 레스토랑 호텔 전시장	힐링 가든 체육시설 야외공연장 캠핑장 체험장
토지 이용계획	도시첨단산업단지 커뮤니티복합시설	기업·기관 연구소	창업지원공간	쇼핑 및 문화생활공간	휴식공간

SECTOR-1	시설 및 세부내용
PFALs	도심형 스마트팜 생산 시스템
IR Center	VC/AC 전용 오피스 & IR공간
미디어 스튜디오	지역민 대상 개방형 미디어 스튜디오(촬영·편집·교육 및 실전)
소상공인농산물센터	스마트스토어, 전시 모델샵, 농산물전통시장 구축지원
지역시민대학	지역시민을 위한 첨단농산업 관련 교육지원

SECTOR-2	시설 및 세부내용
기업·기관 연구소	도심형 스마트팜 관련 기업연구소 및 공동연구센터 유치
에너지 센터	지속가능한 첨단농산업으로 도약을 위한 수소 에너지, 신재생에너지(폐기물 등) 개발
AI.Data 센터	지역 우수 기술 사업화를 위한 기술센터 기업연구소(중견), 연구소기업, 창업기업 연계, 협력

SECTOR-3	시설 및 세부내용
Business Processing Platform	입주 기업 및 창업자 안내를 위한 서비스 제공 플랫폼
첨단농산업 관련 문화예술창업공간	청년예술인 창업지원공간(공동작업실+사무실)

SECTOR-4	시설 및 세부내용
도심형 스마트팜 Plaza	도심형 스마트팜 관련 문화생활공간 제공

SECTOR-5	시설 및 세부내용
도심형 스마트팜 Garden	치유농업 관련 휴식공간 제공

□ 도심형 스마트팜 모델 시뮬레이션 적용

- 도심형 스마트팜 모델에 경제적 전략 수립을 하기 위해서는 규모, 기능, 사업비 등 기본구성이 체계적으로 이루어져야 함.
- 초기 투자비용은 각종 시설 장비의 설계 시 시스템, 소재, 개발 방향, 내구성 등에 따라 많은 차이가 날 것이며, 고정비용 또한 큰 차이가 있음을 감안 해야함.
- 도심형 스마트팜은 PFALs의 형태로만 이루어진 것이 아닌 도심형 스마트팜 Main Center, 도심형 스마트팜 R&BD Center 및 도심형 스마트팜 Business, Startup Center 등으로 이루어져 있으므로 별도의 시뮬레이션을 통한 경제성 추정이 필요할 것으로 판단됨.
- 도심형 스마트팜 모델 시뮬레이션 적용을 통한 경제성 검토를 위해서는 도심 내 ①토지 재고 전략을 통한 부지선정, ②세계적 트렌드에 따르는 도심형 스마트팜 생산 시스템의 작목 선정, ③PFALs 단일 시뮬레이션이 아닌 복합적 시뮬레이션 개발 등이 이루어져야 할 것임.

## 4.2. 도심형 스마트팜 클러스터 구축(안)

### □ 도심형 스마트팜 클러스터 기능 및 구축 기본(안)

- 도심형 스마트팜 클러스터는 광역시청 또는 도시 중심부를 기준으로 반경 20km 이내에 조성하는 것을 기본안으로하여 온실, 식물공장, 수직형농장, 옥상농장의 시설을 포함하고 재배작물 이외에도 약용기능성 천연물 약품 생산을 위한 생산 시스템을 제시함(그림 66).
- 도심형 클러스터는 20ha 규모로 일본 가시와노하 스마트도시를 벤치마킹하여 도심형 스마트팜과 관련된 시험연구, 테스트베드, 선순환 구조의 산업생태계, 유통까지 포괄적인 개념임.



그림 66. 도심형 스마트팜 클러스터 조감도(Kozai et al., 2019의 그림을 국내 현실에 맞추어 재편집)

- 최근 기후 변화 대응 및 생산방식 패러다임의 전환이 필요하며, 성장동력 창출 측면에서 ICT 융합 최첨단 도심형 스마트팜 기술 개발 및 투자 인식이 강화되고 있음. 도심형 스마트팜 클러스터는 도시 인구증가에 따른 식량 안보, 자원 절약, 삶의 질, 환경보전 등에 대한 기능을 포함하고 있음.
- 도심형 스마트팜 클러스터는 도시지역에서 농산물을 추가로 공급하여 지역에서 재배한 식품의 가용성을 높일 수 있고 개인 영양, 건강, 웰빙의 개선과 더불어 도시의 식량 자급률을 높이기 위한 전략으로 사용될 수 있으며, 이로 인해 기후 변화와 관련된 극심한 기상 변화 및 식량 공급망 붕괴에 대한 탄력성을 높일 수 있음.
- 도시인들이 음식 문화와 자연환경을 연결할 수 있는 공간을 만들고, 개인 건강 개선, 휴식과 웰빙의 느낌 구축, 지역 사회 참여 및 교육을 위한 영역을 제공함으로써 사회적 혜택을 제공할 수 있으며 농지와 건강식품의 접근성과 가용성을 높이는 동시에 도시 경관에 다른 이점을 제공함.
- 도심형 스마트팜 클러스터는 개인 가족, 지역 사회 단체 및 도시 시장에 신선하고 건강한 농산물 공급원을 제공할 수 있으며, 도시 공간이 부족한 경우 옥상 정원, 수직 농업 및 실내 재배(식물공장) 등의 재배 방법을 사용할 수 있기 때문에 도시를 위한 다량의 토지 면적에 대한 필

요성을 피할 수 있음.

- 기본 재배작물과 더불어 식품가공, 바이오, 약용·기능성 등을 포괄적으로 포함하며 복합환경제어 및 다목적으로 사용될 수 있도록 설계하였음.
- 도심형 스마트팜 클러스터를 중심으로 플라스틱하우스, 유리 온실, 옥상 농장, 식물공장에서 기존 농업에서 재배하기 힘든 품종을 재배하여 가공 및 유통을 통합하여 기존의 농업 방식과 구별성을 가고 R&D 및 교육센터를 통해 청년 일자리 창출 및 도시 거주자들의 사회적 참여 유도를 할 수 있는 시스템을 구축하여 연중 가용성을 목표로 함.

□ 재배 작물 및 재배 확대 작물 검토

- 약 60여 종 작물 대상 1. 수출 가능성, 2. 도심형 스마트팜 적용 가능성, 3. 수경재배 의향을 기준으로 우선 재배 작물과 향후 재배 확대 작물(R&D와 연계하여 확대 추진) 선정.
- 도심형 스마트팜에 적합한 작물(근채류, 엽채류, 과채류, 과수류, 특용작물, 기능성 작물, 기타 작물) 들을 선정하여 최근 3년 수출 성장 작물, 작물 별 도심 내 수출 경험 보유 여부를 조사하여 수출 가능성에 대한 여부를 판단.
- 검증된 도심형 스마트팜 기술 및 도심형 스마트팜 적용 선도 사례 존재 여부 사례를 조사하여 스마트팜 기술 적용 가능성을 분석한 뒤 도심형 스마트팜에 적합한 수경재배 작물에 대한 이해 및 재배 경험 존재 여부를 검토함(그림 67).
- 통계분석 자료 분석, 전문가 의견 청취, 최신 트렌드 분석, 도심형 스마트팜 기업 의견 청취를 통해 선정된 재배작물은 안정적 수익 창출 담보 작물인 엽채류가 선정 되었으나, 최신 트렌드 부합 우수 품종은 기능성 작물(인삼, 버섯), APC 기반 다양한 활용 가능 작물에는 최근 셀러드용으로 많이 사용되는 양상추가 선정됨.



그림 67. 도심형 스마트팜 재배 작물(스마트팜 혁신밸리 조성 예비 계획서, 2018)

- 농축산물 소득자료집을 통하여 특용작물인 인삼(4년근), 엽연초가 시설 상추보다 소득률이 높은

것을 알 수 있으며, 같은 면적 대비 높은 소득률을 가지는 작물들을 선정할 수 있음(표 42).

표 42. 시설업채류 및 특용작물 소득자료(농축산물 소득자료집, 2017) (기준 : 년 1기작/10a)

작목	수량(kg)	총수입(원)	경영비(원)	소득(원)	소득률(%)
시설상추	4,182	9,468,360	4,820,980	4,647,380	49.1
인삼(4년근)	644	17,089,728	7,340,591	9,749,137	57.0
엽연초	306	2,563,827	1,184,537	1,379,289	53.8
느타리버섯(균상) (년/330m <sup>2</sup> )	5,633	22,731,785	11,704,199	11,027,586	48.5

□ 고기능성 식물 원료 대량 생산 시스템 구축

- 통제된 환경조절 하 연중 계획 생산 및 균일한 품질의 천연물 원료를 안정적으로 생산할 수 있는 도심형 스마트팜의 이점을 활용한 시스템 구축이 필요함.
  - 원료 및 지표/활성 성분 함량의 표준화를 할 수 있음(계절적 공간적 영향을 최대한 적게 받을 수 있으며 표준화된 재배법을 적용하기가 용이 함).
- 고기능성 원료 약용식물의 식물공장 최적 재배 기술 개발(그림 68).
  - 고기능성 원료 식물공장 규격화 재배기술은 해당 작목의 광합성 및 생육 특성 구명, 생체중 대비 건물 비율 분석, 해당 작목에 적합한 공급배양액 개발이 필요함
  - 도심형 스마트팜 내 생산성 최대화를 위한 재배 구조 및 수광량 분석 및 광학 시뮬레이션을 이용한 재식 밀도별 수광량 분석이 필요하며, 연중 생산을 위한 우량 육묘 공급체계 확립을 통한 우량 모종 생산을 위한 재배체계의 확립, 대량 생산 체계의 단위 규모 추정이 필요함.
  - 환경조절을 이용한 약용작물 기능성 향상 기술은 광 환경조절에 따른 반응 특성, 일장, 누적 광량과 생육 및 기능성 성분의 함량 증가와의 관계 분석 등에 관한 체계 확립이 중요 함.
  - 수확 전 환경 스트레스 처리를 통한 기능성 물질 향상, 수확 후 환경 스트레스 처리에 의한 기능성 물질 향상, 환경요인 간 복합 적용을 통한 기능성 향상 기술 확립을 통한 주년 재배에 따른 작기별 생육 성분 특성 분석이 필요함.
- 생육단계별 생육량과 기능성 성분 함량 변화 모델 확립과 고기능성 원료 약용식물의 기능성 물질 생산량
  - 앞서 조사한 항목들을 복합적으로 적용하여 기능성 성분 함량 변화 모델 확립이 가능함.
  - 모델 적용을 통해 생산 가능한 기능성 물질의 총량을 생산량 목표를 반영하여, 단위 면적당 개체수를 재배 기준으로 산출할 필요가 있음.

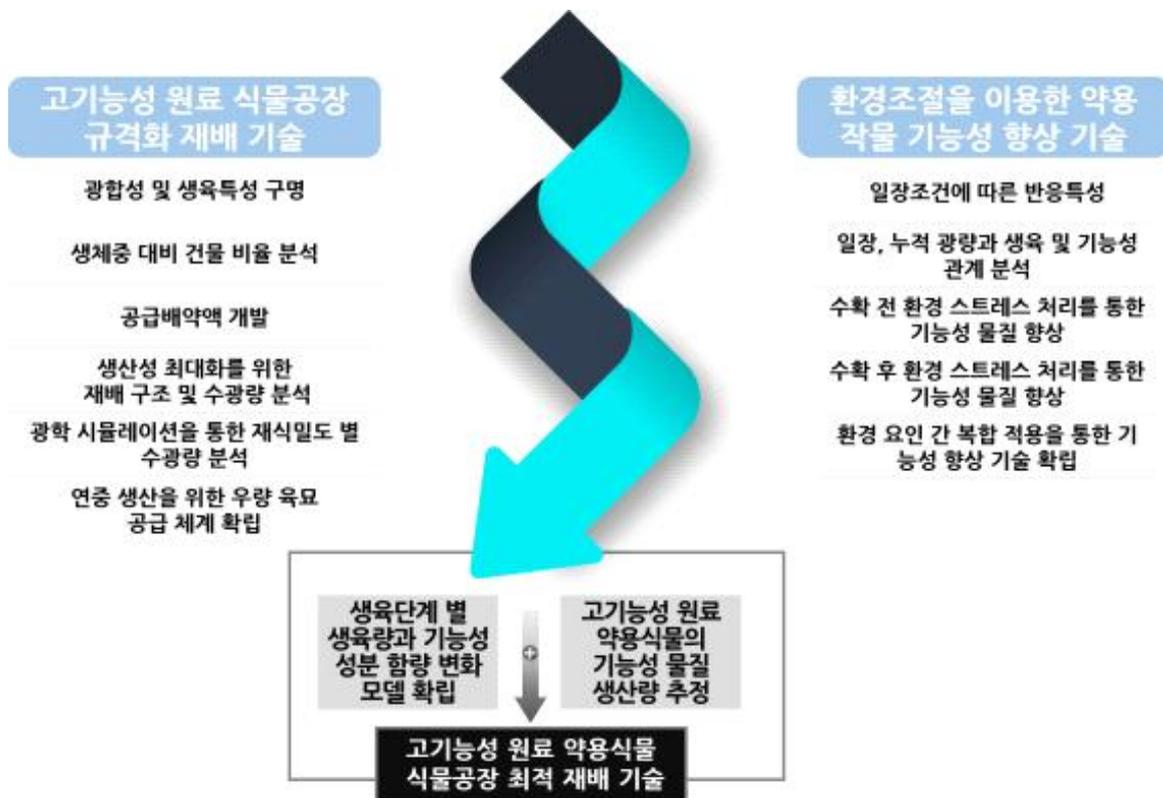


그림 68. 고기능성 원료 약용식물 대량 생산 시스템(Kozai et al., 2019)

□ 도심형 Eco-friendly 에너지 시설 도입

- 정부의 그린뉴딜 및 탄소중립 정책에 부응하고, 농가 소득향상과 일자리 창출 차원에서 스마트팜에 연료전지를 연계하는 사업들이 추진되고 있으며, 에너지 비용 절감과 친환경 에너지원 개발이 필요한 상황에서 스마트팜-연료전지 연계사업이 확대되고 있음.
- 연료전지 기술은 ‘물, 유기물, 화석연료 등의 화합물 형태로 존재하는 수소를 분리, 생산해서 이용하며, 연료전지는 수소를 연료로 공급되는 한 재충전 없이 계속해서 전기를 생산하고, 반응 중 발생된 열은 온수 및 난방으로 이용할 수 있으며, 발전용, 건물용, 수송용, 휴대용으로 구분됨.
- 시설원예에서의 수소 연료전지 시스템은 연료전지 발전과정에서 발생한 이산화탄소는 포집하여 작물에 게 시비하고, 발생된 열은 난방에 사용하며, 발전 에너지는 한전에 판매하는 방식으로 운영될 계획임(그림 69).
- 고체산화물 연료전지(SOFC) 통합시스템을 구축하여 도심형 스마트팜 환경에 적합한 연료전지시스템 운전 기술 및 전용 생산 공장을 확보하여 농업에너지를 생산·소비하는 자립모형을 구축하고 현장 실증 운전을 통한 에너지 생산 최적화와 고효율화를 목표로 함.
- 도심형 스마트팜의 에너지원으로는 친환경적이며 지속 가능한 이점들을 고려한 SOFC를 도입하는 것이 검토될 필요성이 있음. 식물공장에서 작물생산을 위한 에너지소비량이 점차 줄고 있음(LED광원 에너지 효율 증대, 공조시스템의 열 에너지 효율이 높아짐, 시스템의 제어 알고리즘의 개발로 환경 부하 최적화 시킴 등)



그림 69. 고체산화물 연료전지(SOFC) 연계 통합시스템(출처: <http://www.kharn.kr/news/>)

□ 도심형 스마트팜에 새로운 농산물 유통체계 도입

- ICT 기술을 적용한 스마트 농산물유통센터(APC)는 실시간 데이터 공유 및 업무 효율성 제고는 물론 지역 내 특화 작물을 연계 및 공동 출하하는 거점 역할을 하고 있음.
- 도심형 스마트팜에 적용할 농산물유통센터는 소비자와 소통하는 농산품 물류 체계 강화를 전략으로 안전하고 효율적인 물류 체계를 구축하여 도시민 물류 서비스를 제공하는 것이 목적임.
- 생산지역 생산 작물 확보 및 처리를 통한 안정적인 환율 확보 및 APC 가동률 제고 및 도심형 농업 판로 개척 및 수출을 위한 유통채널 및 수출 대리점 정보 공유를 통해 지역 내 생산 작물을 포함한 거점형 스마트 APC 운영이 가능하며 도시 경쟁력을 향상시킬 수 있음.
- 도심형 스마트팜에 적용할 농산물유통센터는 유통구조 개선으로 중도매인을 거치지 않고 도시 내 식물공장 등에서 생산된 신선 농산물을 최단 거리 또는 최소의 유통경로로 농산물을 배송하는 것을 주요한 특징점으로 부각시킴.
- APC 센터를 통해 생산에서부터 소비자까지 현장 판매, 온라인 거래, 직접 배송을 통해 유통경로를 최소화하여 농산물 가격 및 수급 조절의 안정화를 촉진할 수 있음(그림 70).

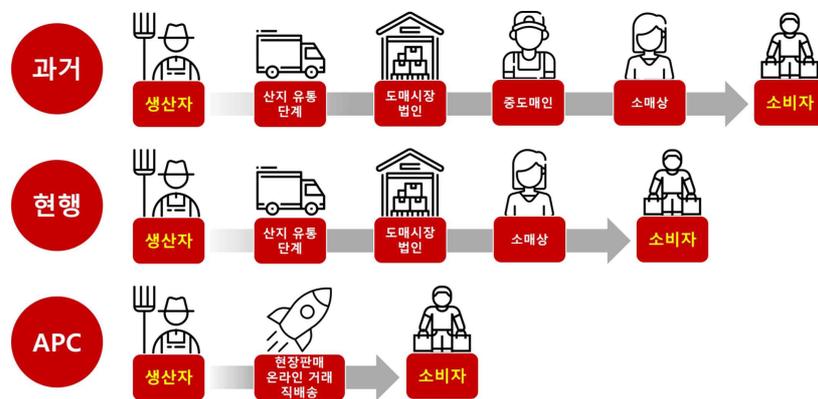


그림 70. 도심형 스마트팜 농산물유통센터(APC) 유통단계

#### □ 도심형 스마트팜 클러스터 사업 타당성 분석

- 궁극적으로 도심형 스마트팜 산업 활성화는 북미에서처럼 미래산업에 대한 투자로 시설을 현대화·첨단화·규모화하여 경쟁력을 확보하는 것이 바람직하며, 소수 선도기업 중심인 우리 도심형 스마트팜 산업은 정책적인 R&D 추진에 따른 기술지원 없이 중장기적 발전을 도모하기에는 한계가 있음.
- 도심형 스마트팜 클러스터는 하나의 공간에 R&D와 R&BD의 기능을 부여하고, 중소기업 체계의 산업군이 취약한 R&D를 국가연구체계로 결과를 도출하여, 이 결과를 비즈니스와 연계하여 사업화(지도·보급·육성·창업·보육) R&BD에 적용하는 것임.
- R&D는 국가연구 체계로 산업체에서 연구가 어려운 기초연구 및 긴급한 기술수요가 요구되는 연구 등 정책적인 연구를 시행하고, 이를 반영한 R&BD는 성공적인 창업 및 사업화 방향을 전제로 함.
- 급변하는 세계 도심형 스마트팜 산업은 '20년 기준으로 향후 10년에 CAGR 24.6%, 890%, 성장하는데, 분석된 한국시장은 세계시장 대비 57% 수준의 저성장과 상대적 퇴보가 전망되는 것으로, 선제적인 정책 대응이 절실함.
- 도심형 스마트팜 클러스터 구축은 중소기업체계로 취약한 도심형 스마트팜 산업의 R&D·창업보육·재배교육·전문가그룹 인력풀·산업활성화·기술권리성 획득의 지원 및 비즈니스모델로 R&BD 개념의 도입 등 시기적절할 것으로 판단됨,

### 4.3. 기대 효과

#### □ 도심형 스마트팜을 통한 사회적 기대효과

- 사업 추진에 따라, 도심형 스마트팜에 대한 기존 인위적이고 기계적인 식물재배에 따른 부정적인 시각의 이미지를 생산자와 소비자의 거리를 최소화하고, 소비자가 직접 확인하는 안심 농산물을 생산하는 친환경·무공해·신선한 이미지로의 긍정적인 개선이 기대됨.
  - 농가 고령화 심각, 기후 변화 및 농산물에 대한 가치변화 등 최신 농산물 소비 동향 트렌드에 대응 도심형 스마트팜 기술개발로 사회적 이슈 해결(안전, 안정, 고기능성, 건강 등)에 기여.
  - 도심형 스마트팜은 건강한 먹거리에 대한 관심 증대로 병해충 관리, 저농약, 신재생에너지 활용 등으로 지속가능한 농법 구현.
  - 도심형 스마트팜 산업 활성화로 신 농산업 분야(스마트팜 관련 장치 및 기술 창업 등) 창출로 신규 일자리 창출 가능.
- 도심형 스마트팜으로 재배 생산하는 시스템은 관행 농업에 비해 교육(고 차원 적인 종합 교육), 실습(농업, 기계, 전자, 컴퓨터공학 등 다제가의 융합) 등을 통해 농업생산의 이해를 돕고 기술 집약적으로 접근할 수 있는 미래 가능성이 높은 분야임.
- 융합기술이 필요한 분야이나 도시농업과 연계된 제2의 창업 또는 전직자, 장애인, 사회 취약층, 원예치료를 위한 좋은 기회를 제공하므로 이들을 대상으로 한 수준별 교육 제공 가능.
- 교육용 거점 도심형 스마트팜 설치로 노령화 사회 대비 노인 대상 인력 수급을 위한 교육, 또는 초등, 중등, 고등학생들의 과학적 호기심 고취가 가능할 것으로 기대.

○ 농림축산식품부 등에서 주관하는 청년창업, 영농창업, 각 대학의 인력양성사업과 연계 또는 새로운 사업으로 추진 가능, 식물공장의 첨단사업이며 미래의 일자리로서 청년들에게 매력적인 분야이므로 정부 정책 중 청년 일자리 확충 사업과 적극 연계 가능할 것으로 기대됨.

□ 도심형 스마트팜을 통한 과학적 기대효과

○ 도심형 스마트팜 지원사업 추진에 따라, 국가 R&D 시스템의 적용으로 개별 요소기술의 체계적인 개발은 신 농산업 분야 및 수출 주력 품목 육성이 가능할 것으로 예상되며, 국가 R&D 및 과학기술 역량 제고의 긍정적 발전이 기대됨.

- 도심형 스마트팜 기술개발을 통한 관련 산업분야의 국가 R&D 및 과학기술 역량제고.
- 첨단 융·복합기술 활용 도심형 스마트팜의 R&DB로 산업화 촉진하는 혁신형 기술개발 활성화.
- IoT, 빅데이터, 인공지능, 로봇 등 4차 산업혁명 기술과 융복합을 통한 선도모델 개발.  
\* 도심형 스마트팜의 구조적 특성으로 4차 산업혁명 기술 융복합의 최적 산업으로 주목받음
- 도심형 스마트팜 관련 R&BD로 원천기술 현장보급 확대 및 상용화 기술 확보.
- 도심형 스마트팜 기술개발에 대한 인프라 구축(장비, 인력) 효과를 창출하여, 타사업 연계성 및 지속적 원천기술 및 실용화 기술 확보 추진.
- 도심형 스마트팜 세계 수준 경쟁력 확보를 위한 원천 및 상용화 기술 확보로 신산업 성장 견인  
\* 상용화 기술 적요를 통해 신성장동력 창출 및 세계시장 선점을 위한 경쟁우위 확보

□ 도심형 스마트팜의 경제적·고용 창출 및 후속 전문가 양성 기대효과

○ 도심형 스마트팜 구축/운영으로 인한 도시 내 청년 일자리 창출, 비용 대비 편익 비율로 상승으로 인한 긍정적 경제효과 발생 기대.

- 도시 내 풍부한 청년자원과 체계적인 교육 시스템 및 창업 지원프로그램과 결합하여 전국적으로 도심형 스마트팜이 확산될 것으로 기대.

○ 식물공장 전반 관련 인력양성에 있어서 이론교육과 현장 실무교육을 받은 실질 인력을 배출함으로써 재직자의 현장 적응에 필요한 시간을 단축할 뿐만 아니라 제품 품질 향상에 기여 가능.

○ 식물공장 인력양성과정을 통하여 배출된 인력은 산업체에서 요구하는 제반 기술을 이해하고 해결할 수 있는 이론과 현장 적응 실무능력을 겸비하고 있으므로 거점지역 내 산업체의 기술을 주도하는 역할을 할 수 있으며 산업 경쟁력을 강화하는데 기여할 것임 .

○ 도심형 스마트팜 교육 협의체 구성으로 거점 교육기관 별 시설 및 정보의 공동 활용 가능 기대

- 도심형 스마트팜 거점 교육센터 간 교육 및 실습 교재의 공동 개발 및 활용 가능.
- 도심형 스마트팜 산업체(식물공장, 수직농장 등)에서 발생하는 현장 애로 기술 공동 대응.
- LED 광원의 IT 융합화 및 기술표준화 구심체 역할 가능.
- 조명관련 설계 tool(광원, 디자인 포함) 교육과정 운용.
- 식물공장 및 재배 시스템 기술 정보 교류 및 전파.

## 제5장 결론

### □ 도심형 스마트팜의 산업 동향 및 정의

- 도심형 스마트팜의 대표적 형태인 인공광 이용형 식물공장은 우리나라에 '19년 기준 전국 43개소가 상업적으로 운영 중이며, 서울·경기 11개소와 대구·경북 20개소가 있음
- 국내 식물공장 대표업체인 팜에이트(주)는 실평수 약 330평 규모의 국내 최대 대형식물공장을 운영 중이며 HW-SW 통합 재배기술, 파종 및 육묘 최적화 재배기술을 확보하고 있음.
- 국외 도심형 스마트팜 시장 규모 조사·분석 결과, '18년 세계시장은 2,230백만 USD 규모로 파악되며, '28년 세계시장은 CAGR 24.6% 성장하여 19,840백만 USD로 전망됨(890% 성장).
- 아시아 권역의 식물공장 기술개발 및 사업 추진은 일본이 선도적으로 수행해왔으며, 1974년 히타치제작소 중앙연구소에서 수행한 식물공장 기반 식물 최적 재배환경 조성 연구를 시작으로, 2009년부터는 일본 정부의 지원하에 약 50개소의 상업적 식물공장이 운영되고 있음.
- 최근 일본에서도 식물공장 수익 창출을 위해 고부가가치 약용식물 재배를 통한 제약원료 생산 목적의 기초연구로 방향 전환을 하고 있음. 일본 미츠비시케미칼 사의 경우 2010년부터 감초 등의 한약재 원료 생산을 위한 LED 조명 구성과 재배법 확립을 위한 기술개발에 착수하였으며, 경제산업성의 지원으로 분자농업 관련 GMO 작물을 밀폐된 식물공장에서 재배하여 애완견 구내염 치료제를 세계최초로 상용화하고 있는 등 적극적인 투자가 이루어지고 있음.
- 스마트팜(농산물 생산)은 노지 및 시설에서 농업인 및 사업체(농협, 영농조합법인 등)가 태양광으로 농촌지역에서 농산물을 생산하는 것, 도시농업(취미 목적)은 도시민이 시설 및 옥외에서 태양광으로 농산물을 취미 원예 방식(비영리 목적)으로 생산하는 것,
- 도심형 스마트팜은 도시지역에서 ICT 또는 IoT을 작물생산 시스템에 적용하여 재배환경을 최적으로 제어함으로써 생산을 공정화, 자동화하여 산물(농산물, 고부가가치 천연물 원료 등)을 계획하여 경영관리 할 수 있는 것으로 제안할 수 있음. 도심형 스마트팜으로 적용 가능한 유형으로는 수직농장, 인공광 이용형 식물공장 등이 있을 것임.

### □ 도심형 스마트팜의 확산 필요성 및 모델 제안

- 국가별 농업 특성에 기반하여 기후 변화 대응, 에너지 절감, 노동력 대체, 환경 부하 감소, 생산성 향상 및 관련 기술 수출 등 농업 현장 문제 해결과 부가가치 제고를 위한 현장 수요를 반영하여 도심형 스마트팜 관련 ICT 융복합기술과 모델을 산업화하고 있음.
- **(재배)** 수직형 식물공장의 환경요인을 제어하기 위해 조명 장치, 공조기기(에어컨 및 송풍팬), 양액 관리장치(양액, 미생물 살균장치 포함)를 갖추고 환경요인 센서 이외에도 전기소비량, 급배액량 계측을 포함한 통합 환경 제어 실시
- **(유통)** 도심형 농산물유통센터(APC)를 통한 유통구조 개선은 APC 센터를 통해 생산에서부터 소비자까지 현장 판매, 온라인 거래, 직접 배송을 통해 유통경로를 최소화하여 농산물 가격 및 수급 조절의 안정화 및 탄소배출 최소화를 실현시킬 수 있도록 해야함.
- **(시스템)** 고체산화물 연료전지(SOFC) 통합시스템을 구축하여 도심형 스마트팜 환경에 적합한 연료전지시스템 운전 기술 및 전용 생산 공장을 확보하여 농업에너지를 생산·소비하는 자립모델을

구축하고 현장 실증 운전을 통한 에너지 생산 최적화와 고효율화를 목표로 해야 함.

- **(작물선정)** 통계분석 자료 분석, 전문가 의견 청취, 최신 농식품 트렌드 분석, 도심형 스마트팜 기업 의견 청취를 통해 재배작물은 안정적 수익 창출을 담보로한 작물을 선정해야 함. 신규 혁신 작물로 천연물 신약 개발 및 보조영양제로 활용가능성 높은 특용작물을 위주로 도심형 스마트팜에서 생산한다면 수익성과 타 산업(천연물 제약 등)과의 상호 보완 발전 가능성이 높음.
- **(경영)** 전 세계 원예 분야에서의 가장 큰 과제는 단위 면적당 생산량을 증가시키고, 작물재배에서의 지속가능한 방법을 도입 및 개선하는 것임, 도심형 스마트팜을 통해 이러한 과제에 대한 해답을 찾을 수 있도록 비즈니스 영역을 구축 해야 할 필요가 있음.
- **(해외 사례 벤치마킹)** 일본 및 네덜란드 사례를 통해 도심형 스마트팜 구축 시 비즈니스모델 또한 필수적으로 구축이 되어야 한다는 것을 알 수 있음. 국내 원예 산업의 발전을 도모할 뿐 아니라, 도시지역의 경제적 발전, 국내 기업 및 지방정부 등 여러 조직들이 비즈니스를 할 수 있도록 연결시켜 줄 수 있는 하나의 연결고리가 될 수 있음.
  - 일본판 아그리젠토(Agrigento)를 통해 일본 농업이 직면한 고령화, 농업인구 감소, 시장개방 등의 문제를 해결하고 농업의 경쟁력을 제고하기 위한 정책을 수립하였음(기업의 농지 소유 자유화, 무인경작 확대, 도심형 스마트팜인 식물공장 건설 확대 등).
- **(인프라)** 스마트 농업의 핵심이라 할 수 있는 빅데이터 수집, 분석, 컨설팅 전문기관 설립 육성이 필요하고, 도심형 스마트팜 법, 제도 정비 및 규제 완화 정책과 스마트농업 플랫폼 구축 사업이 시급함. 도심형 스마트팜이 체계적으로 보급·확대 및 추구하는 목적 달성을 위해서는 정부(농림축산식품부, 과기부, 기재부, 농진청 등)와 학교(작물학, 공학 등), 연구소, 민간기업 등이 협력할 수 있도록 역할을 강화하고, 이를 전체적으로 끌고 갈 협의체를 구성할 필요가 있음.

□ 도심형 스마트팜의 경제적 운영 및 확산 전략

- 도심형 수직농장(인공광 이용형 식물공장)의 시스템은 설계, 관리 및 데이터베이스의 세 부분으로 구성됨. 조명시스템 PPFD 분배 설계로 에너지 소비 최소화, 내부와 외부의 온도 차이에 영향을 받는 COP 최적화, 디스플레이 화면의 구성 요소별 전력 소비 시각화를 통한 모니터링 시스템 구축해야함. 작물의 순 광합성, 암호흡 및 수분섭취율에 대한 환경과의 상호작용 최적화, 작물 생장률 측정값을 바탕으로 생장곡선의 매개변수 값을 찾아 수확 최적기 선정
- 수직농장의 생산비용 구성비와 사례들을 참고하여, 생산 원가 비율은 초기투자 감가상각 30%, 전기 및 수도 20%, 인건비 20%, 자재 20%, 유지 보수 및 보안 관리 10%를 기준으로 하며, 초기투자 비용 회수 기한은 최소 6년에서 최대 10년으로 하는 것이 경제적 운영이 가능함.
- 도심형 스마트팜 클러스터를 조성하여 확산 전략의 하나로 추진함. 도심형 스마트팜 클러스터의 기능 및 조성을 위한 기본(안)을 일본 가시와노하 스마트도시를 벤치마킹 하여 구축하며(20ha 규모), 도심형 스마트팜 관련 연구·재배·유통·유지관리 등의 기능을 가지고 운영하는 것을 제안함.



## [참고문헌]

- 1) 강대현, 홍성하, 손정익, 오영민, 윤정석, 이창구, 박고현, 박명환, 박용준, 김재성, 정재훈, 도시형 스마트농업모델 개발을 위한 자료조사분석.
- 2) 경상북도, 2018, 스마트팜 혁신밸리 조성 예비 계획서.
- 3) 국가법령센터, 2019, 도시농업의 육성 및 지원에 관한 법률  
([http://www.law.go.kr/도시농업의 육성 및 지원에 관한 법률/\(14650\)](http://www.law.go.kr/도시농업의_육성_및_지원에_관한_법률/(14650)))
- 4) 김동역, 이공인, 허정욱, 최경이, 정재완, 이한철, 여경환, 김연중, 김종진, 한혜성, 임수현, 2014, 인공광형 식물공장 모델 및 매뉴얼 연구.
- 5) 김연중, 김배성, 박기환, 김종진, 한혜성, 임수현, 2013, 인공광형 식물공장 경영 모델 연구.
- 6) 김연중, 박지연, 박영구, 2017, 4차산업혁명에 대응한 스마트농업 발전방안.
- 7) 김연중, 서대석, 박지연, 박영구, 2016, 스마트팜 운영실태 분석 및 발전방향 연구.
- 8) 김연중, 한혜성, 2013, 식물공장의 전망과 정책 과제, 한국농촌경제연구원.
- 9) 김인수, 이지선, 박병관, 김혜연, 구자준, 강태혁, 2020, 저비용, 고효율을 위한 재배베드 시스템, 공조시스템, 인공광원 시스템, 센싱 시스템의 표준화 기술개발.
- 10) 김재훈, 2010, 식물공장 시스템의 동향과 발전방향.
- 11) 김지은, 이정우, 2019, 스마트팜 기술 및 시장동향보고서
- 12) 김충실, 이현근, 2008, 농업부문 에너지 소비의 CO<sub>2</sub>배출량 분석.
- 13) 농촌진흥청, 농어기술길잡이 191(개정판), 식물공장.
- 14) 농촌진흥청, 2017, 농축산물소득자료집.
- 15) 농촌진흥청, 2018, 스마트팜 혁신밸리 조성 및 운영사업.
- 16) 농촌진흥청, 2019, 농축산물소득자료집.
- 17) 데이코산업연구소, 2019, ICT 융합기술로 구현하는 스마트팜, 식물공장 시장 실태와 전망
- 18) 도재규, 2017, 수직형농장 비즈니스모델 실증 사업 추진계획.
- 19) 박권우, 2020, 세계원예센터(World Horti Center).
- 20) 박종석, 손정익, 이종원, 이준구, 황승재, 오명민, 2016, 식물공장 중장기 정책 수립 방안 연구.
- 21) 손정익, 김일섭, 최종명, 배종향, 2021, 삼고 시설원예학.
- 22) 유전용, 김영화, 김기호, 이관호, 이경수, 강태현, 이창우, 조희남, 박경원, 2019, 지능형 스마트팜 플랫폼 수출연구사업단 동향보고서.
- 23) 유전용, 김영화, 김기호, 이관호, 이경수, 강태현, 이창우, 조희남, 박경원, 2019, 제2차년도 수출전략기술개발사업, 동향보고서.
- 24) 유전용, 김영화, 김기호, 이관호, 이경수, 강태현, 이창우, 조희남, 박경원, 2020, 제3차년도 수출전략기술개발사업, 동향보고서.

- 25) 유전용, 김영화, 김기호, 이관호, 이경수, 강태현, 이창우, 조희남, 박경원, 2021, 제4차년도 수출전략기술개발사업, 동향보고서.
- 26) 이상엽, 박성규, 2019, 스마트팜 다부처 패키지 혁신기술개발.
- 27) 이시영, 강동현, 김동역, 이공인, 허정욱, 손정익, 2013, 식물공장의 기술 개발 로드맵.
- 28) 이용범, 김정만, 배종향, 신동창, 최기영, 이정필, 김완순, 이종원, 조영열, 이정현, 이준구, 박종석, 최은영, 김성겸, 박경원, 윤성기, 2020, 시설재배 글로벌 융복합 혁신센터 구축 기본계획 수립.
- 29) 장영주, 김태우, 2019, 스마트팜 확산, 보급 사업 현황과 과제.
- 30) 전황수, 2016, 식물공장의 국내외 추진 동향.
- 31) 정상훈, 손정익, 오명민, 최성현, 천성남, 김인수, 이성화, 2018, 식물공장을 이용한 고기능성 식물 원료 대량 생산 시스템.
- 32) 최세림, 조원주, 2019, 스마트팜 활성화정책이 고용에 미치는 영향.
- 33) 한국생명공학연구원, 2011, 식물공장의 국내 사업화 전망, 농식품 R&D 기술기획 시스템 구축, 이슈분석보고서 3호.
- 34) 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.
- 35) Al-Kodmany, K. (2018). The vertical farm: A review of developments and implications for the vertical city. Buildings, 8(2), 24.
- 36) Alsanius, B. W., Held, A. K., Dorais, M., Onyango, C. M., & Mogren, L. (2017). Produce Quality and Safety. In Rooftop Urban Agriculture (pp. 195–216). Springer, Cham.
- 37) Alsanius, B. W., Karlsson, M., Rosberg, A. K., Dorais, M., Naznin, M. T., Khalil, S., & Bergstrand, K. J. (2019). Light and microbial lifestyle: The impact of light quality on plant-microbe interactions in horticultural production systems—A review. Horticulturae, 5(2), 41.
- 38) Anpo, M., Fukuda, H., & Wada, T. (Eds.). (2018). Plant factory using artificial light: adapting to environmental disruption and clues to agricultural innovation. Elsevier.
- 39) ASHRAE, U. (2013). Guide: Design, Construction and Operation of Underfloor Air Distribution Systems. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, GA.
- 40) Bantis, F., Koukounaras, A., Siomos, A., Menexes, G., Dangitsis, C., & Kintzonidis, D. (2019). Assessing quantitative criteria for characterization of quality categories for grafted watermelon seedlings. Horticulturae, 5(1), 16.
- 41) Barman, A., Neogi, B., & Pal, S. (2020). Solar-Powered Automated IoT-Based Drip

- Irrigation System. In *IoT and Analytics for Agriculture* (pp. 27–49). Springer, Singapore.
- 42) Brand, C., Bricas, N., Conaré, D., Daviron, B., Debru, J., Michel, L., & Soulard, C. T. (2019). *Designing Urban Food Policies: Concepts and Approaches* (p. 142). Springer Nature.
- 43) Castrignanò, A., Buttafuoco, G., Khosla, R., Mouazen, A., Moshou, D., & Naud, O. (Eds.). (2020). *Agricultural internet of things and decision support for precision smart farming*. Academic Press.
- 44) Chakrabarty, A., & Mudang, T. (2020). Smart and sustainable agriculture through IoT interventions: Improvisation, Innovation and Implementation—An exploratory study. In *IoT and Analytics for Agriculture* (pp. 229–240). Springer, Singapore.
- 45) Chun, C., & Kozai, T. (2000). Closed transplant production system at Chiba University. In *Transplant production in the 21st century* (pp. 20–27). Springer, Dordrecht.
- 46) Craver, J. K., & Lopez, R. G. (2016). Control of morphology by manipulating light quality and daily light integral using LEDs. In *LED Lighting for Urban Agriculture* (pp. 203–217). Springer, Singapore.
- 47) D'Aleo, V., D'Aleo, F., & Bonanno, R. (2018). New Food Industries Toward a New Level of Sustainable Supply: Success Stories, Business Models, and Strategies. In *Establishing Food Security and Alternatives to International Trade in Emerging Economies* (pp. 74–97). IGI Global.
- 48) Dang, M. (2017). Designing green corridors network within cities: a case study in vienna. In *Rooftop Urban Agriculture* (pp. 291–306). Springer, Cham.
- 49) Daviron, B., Perrin, C., & Soulard, C. T. (2019). History of urban food policy in Europe, from the ancient city to the industrial city. In *Designing Urban Food Policies* (pp. 27–51). Springer, Cham.
- 50) Debru, J., & Brand, C. (2019). Theoretical Approaches for Effective Sustainable Urban Food Policymaking. In *Designing Urban Food Policies* (pp. 75–105). Springer, Cham.
- 51) Domazet, I., & Djokić, N. (2018). Food safety from consumer perspective: consumer confidence in food safety. In *Establishing Food Security and Alternatives to International Trade in Emerging Economies* (pp. 316–336). IGI Global.
- 52) Erokhin, V. (2019). Trade in agricultural products and food security concerns on emerging markets: how to balance protection and liberalization. In *Urban Agriculture and Food Systems: Breakthroughs in Research and Practice* (pp. 1–27). IGI Global.

- 53) Fujiwara, K. (2016). Radiometric, Photometric and Photonmetric Quantities and Their Units. In *LED Lighting for Urban Agriculture* (pp. 367–376). Springer, Singapore.
- 54) Fujiwara, K. (2016). Radiometric, Photometric and Photonmetric Quantities and Their Units. In *LED Lighting for Urban Agriculture* (pp. 367–376). Springer, Singapore.
- 55) Geilfus, C. M. (2019). *Controlled Environment Horticulture*. Controlled Environment Horticulture.
- 56) Golubkina, N. A., Seredin, T. M., Antoshkina, M. S., Kosheleva, O. V., Teliban, G. C., & Caruso, G. (2018). Yield, quality, antioxidants and elemental composition of new leek cultivars under organic or conventional systems in a greenhouse. *Horticulturae*, 4(4), 39.
- 57) Goto, E. (2016). Production of pharmaceuticals in a specially designed plant factory. In *Plant Factory* (pp. 193–200). Academic Press.
- 58) Graamans, L., Baeza, E., Van Den Dobbelen, A., Tsafaras, I., & Stanghellini, C. (2018). Plant factories versus greenhouses: Comparison of resource use efficiency. *Agricultural Systems*, 160, 31–43.
- 59) Hayashi, E. (2016). Current status of commercial plant factories with LED lighting market in Asia, Europe, and other regions. In *LED Lighting for Urban Agriculture* (pp. 295–308). Springer, Singapore.
- 60) Hayashi, E., Amagai, Y., Maruo, T., & Kozai, T. (2020). Phenotypic Analysis of Germination Time of Individual Seeds Affected by Microenvironment and Management Factors for Cohort Research in Plant Factory. *Agronomy*, 10(11), 1680.
- 61) Higgins, C. (2016). Current status of commercial vertical farms with LED lighting market in North America. In *LED Lighting for Urban Agriculture* (pp. 309–315). Springer, Singapore.
- 62) Huang, L., & Gu, M. (2019). Effects of biochar on container substrate properties and growth of plants—A review. *Horticulturae*, 5(1), 14.
- 63) Ibaraki, Y. (2016). Optical and physiological properties of a plant canopy. In *LED Lighting for Urban Agriculture* (pp. 125–135). Springer, Singapore.
- 64) Joseph, E., & O'Dea, E. (2019). Integrating Spatial Technologies in Urban Environments for Food Security: A Vision for Economic, Environmental, and Social Responsibility in South Bend, Indiana. In *Urban Agriculture and Food Systems: Breakthroughs in Research and Practice* (pp. 233–272). IGI Global.
- 65) Khare, A. (2017). Moderating Role of Demographics on Attitude towards Organic

- Food Purchase Behavior: A Study on Indian Consumers. In *Business Analytics and Cyber Security Management in Organizations* (pp. 279–295). IGI Global.
- 66) Kitaya, Y., Tsuruyama, J., Shibuya, T., Yoshida, M., & Kiyota, M. (2003). Effects of air current speed on gas exchange in plant leaves and plant canopies. *Advances in Space Research*, 31(1), 177–182.
- 67) Kozai, T. (2013a). Plant factory in Japan—current situation and perspectives. *Chron. Hortic*, 53(2), 8–11.
- 68) Kozai, T. (2013b). Resource use efficiency of closed plant production system with artificial light: Concept, estimation and application to plant factory. *Proceedings of the Japan Academy, Series B*, 89(10), 447–461..
- 69) Kozai, T., Niu, G., & Takagaki, M. (Eds.). (2019). *Plant factory: an indoor vertical farming system for efficient quality food production*. Academic press.
- 70) Kubota C. (2019). *Biological Factor Management, Plant Factory: An indoor Vertical Faming System for Efficient Quality Food Production*, Academic Press in an imprint of Elsevier.
- 71) Lee, H.J. and Moon, Y.H. Appropriate array of light sources to enhance uniformity in growth of scions and rootstocks. unpublished.
- 72) Li, Q., Li, X., Tang, B., & Gu, M. (2018). Growth responses and root characteristics of lettuce grown in aeroponics, hydroponics, and substrate culture. *Horticulturae*, 4(4), 35.
- 73) Lu, N., & Mitchell, C. A. (2016). Supplemental lighting for greenhouse–grown fruiting vegetables. *LED lighting for urban agriculture*, 219–232.
- 74) Meng, Q., & Runkle, E. S. (2016). Control of flowering using night–interruption and day–extension LED lighting. In *LED Lighting for Urban Agriculture* (pp. 191–201). Springer, Singapore.
- 75) Mitchell, C. A., Dzakovich, M. P., Gomez, C., Lopez, R., Burr, J. F., Hernández, R., ... & Both, A. J. (2015). Light–emitting diodes in horticulture. *Hortic. Rev*, 43, 1–88.
- 76) Murakami, K., & Matsuda, R. (2016). Optical and physiological properties of a leaf. In *LED Lighting for Urban Agriculture* (pp. 113–123). Springer, Singapore.
- 77) Nasr, J., Komisar, J., & de Zeeuw, H. (2017). A panorama of rooftop agriculture types. In *Rooftop Urban Agriculture* (pp. 9–29). Springer, Cham.
- 78) Nguyen, Q. T., Xiao, Y., & Kozai, T. (2020). Photoautotrophic micropropagation. *Plant factory*, 333–346.
- 79) Niu, G., Kozai, T., & Sabeh, N. (2020). Physical environmental factors and their properties. In *Plant factory* (pp. 185–195). Academic Press.

- 80) O'Hara, S. (2017). The urban food hubs solution: Building capacity in urban communities. *Metropolitan Universities*, 28(1), 69–93.
- 81) Ohashi–Kaneko, K. (2016). Functional components in leafy vegetables. In *Plant Factory* (pp. 177–185). Academic Press.
- 82) Oyo, B., & Kalema, B. M. (2016). A System Dynamics Model for Subsistence Farmers' Food Security Resilience in Sub–Saharan Africa. *International Journal of System Dynamics Applications (IJSDA)*, 5(1), 17–30.
- 83) Pardossi, A., Incrocci, L., Salas, M. C., & Gianquinto, G. (2017). Managing mineral nutrition in soilless culture. In *Rooftop urban agriculture* (pp. 147–166). Springer, Cham.
- 84) Parece, T. E., & Campbell, J. B. (2017). Geospatial evaluation for urban agriculture land inventory: Roanoke, virginia USA. *International Journal of Applied Geospatial Research (IJAGR)*, 8(1), 43–63.
- 85) Patel, G. S., Rai, A., Das, N. N., & Singh, R. P. (Eds.). (2021). *Smart Agriculture: Emerging Pedagogies of Deep Learning, Machine Learning and Internet of Things*. CRC Press.
- 86) Rodríguez–Delfín, A., Gruda, N., Eigenbrod, C., Orsini, F., & Gianquinto, G. (2017). Soil based and simplified hydroponics rooftop gardens. In *Rooftop Urban Agriculture* (pp. 61–81). Springer, Cham.
- 87) Sabeh, N. (2016). Rooftop plant production systems in urban areas. In *Plant factory* (pp. 105–111). Academic Press.
- 88) Santini, A., Bartolini, E., Schneider, M., & de Lemos, V. G. (2021). The crop growth planning problem in vertical farming. *European Journal of Operational Research*, 294(1), 377–390.
- 89) 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.
- 90) Shimizu, H., Fukuda, K., Nishida, Y., & Ogura, T. (2016). Automated technology in plant factories with artificial lighting. In *Plant factory* (pp. 313–319). Academic Press.
- 91) Slath, A., & Nikhanj, A. (2019). Food waste management and corporate social responsibility in Indian food service industry: A conceptual analysis. In *Urban Agriculture and Food Systems: Breakthroughs in Research and Practice* (pp. 196–209). IGI Global.
- 92) Supaibulwattana, K., Kuntawunginn, W., Cha–um, S., Kirdmanee, C., 2011. Artemisinin accumulation and enhanced net photosynthetic rate in Qinghao

- (*Artemisia annua* L.) hardened in vitro in enriched-CO<sub>2</sub> photoautotrophic conditions. *Plant Omics J.* 4 (2), 75-81.
- 93) Takagaki, M., Hara, H., & Kozai, T. (2020). Micro-and mini-PFALs for improving the quality of life in urban areas. In *Plant Factory* (pp. 117-128). Academic Press.
- 94) Takagaki, M., Hara, H., & Kozai, T. (2020). Micro-and mini-PFALs for improving the quality of life in urban areas. In *Plant Factory* (pp. 117-128). Academic Press.
- 95) 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.
- 96) Tsirogiannis, I. L., Orsini, F., & Luz, P. (2017). Water management and irrigation systems. In *Rooftop Urban Agriculture* (pp. 129-146). Springer, Cham.
- 97) Williams, K. A., Miller, C. T., & Craver, J. K. (2016). Light quality effects on intumescence (Oedema) on plant leaves. In *LED Lighting for Urban Agriculture* (pp. 275-286). Springer, Singapore.
- 98) World Health Organization. (2003). *The world health report 2003: shaping the future*. World Health Organization.
- 99) Yamori, W. (2020). Photosynthesis and respiration. In *Plant factory* (pp. 197-206). Academic Press.
- 101) Yano, A. (2016). Configuration, Function, and Operation of LED Lighting Systems. In *LED Lighting for Urban Agriculture* (pp. 403-415). Springer, Singapore.
- 102) 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.

## 주 의

1. 이 보고서는 농림축산식품부 정책용역의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하거나, 일부 혹은 전체를 발췌할 경우에는 반드시 농림축산식품부에서 시행한 정책용역의 결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니 됩니다.