

공학사학위논문

식물공장의 현황과 전망

전남대학교 공과대학
응용화학공학부 정밀화학전공

정진희

2014년 7월

공학사학위논문

식물공장의 현황과 전망

전남대학교 공과대학
응용화학공학부 정밀화학전공

정진희

2014년 7월

식물공장의 현황과 전망

이 논문을 공학사 학위 논문으로 제출함

전남대학교 공과대학
응용화학공학부 정밀화학전공

정진희

지도교수 김종호

정진희의 공학사 학위논문을 인준함

심사위원장(전공주임교수) 이종일 (인)

심사위원(지도교수) 김종호 (인)

2014년 7월

목차

0. 요약	3
1. 식물공장의 필요성	4
2. 발전 과정	5
가. 구조	5
1) 수평형	5
2) 수직형	6
3) 모듈형	8
4) 아쿠아포닉스(aquaponics)	9
나. 장소	11
1) 도심, 근교	11
2) 주거 시설 내부	13
3) 극한 환경	15
다. 빛	17
1) 태양광	17
2) 인공광	18
3) 파장	19
4) 고속 점등	20
3. 국내 현황	21
가. 동향	21
나. 식물공장 연구소, 기업 현황	21
다. 투자 및 연구지원	22
라. 특허	23
마. 기술수준	24
4. 문제점	26
가. 환경 및 에너지	26
나. 채산성	28
5. 결론	29
6. 참고 문헌	32

식물 공장의 현황과 전망

정진희

전남대학교 공과대학 응용화학공학부 정밀화학전공

(지도교수 : 김종호)

(국문초록)

최근 농약이나 방사능 오염 등 식품에 대한 불안감이 커지는 가운데, 동시에 건강한 먹거리에 대한 소비자들의 관심이 늘어가고 있다. 본 글에서는 안전하고 신선한 채소를 생산할 수 있는 대안 중 하나인 식물공장을 조사하였다.

식물공장은 1957년 덴마크에서 부족한 일조량을 보조할 인공광원을 이용하여 새싹채소를 생산한 것에서 기원하며, 1999년 이후 고층건물을 이용한 수직형 식물농장의 개념이 생겨났다. 최근에는 남극이나 사막, 해양, 심지어 우주와 같은 극한의 환경에서 사용할 수 있도록 밀폐 구조 식물공장 또한 개발과 연구가 활발하게 진행되고 있다.

그러나 수많은 연구와 기술개발, 투자에도 불구하고 현재 상용화된 국내의 식물공장에서는 기존 시설재배 보다 약 58배가량 많은 에너지를 소모하는 것으로 나타났다. 식물공장에서 가장 많은 비용이 들어가는 것은 광원인데, LED 효율이 이론적 한계치에 도달한다 하여도 기존 대비 약 20배 정도 많은 에너지가 소모될 것으로 예상된다.

따라서 식물공장은 단순히 경제성의 논리로 따질 것이 아니라, 지금 당장은 안전하고 신선한 채소 공급을 목적으로, 혹은 남극기지나 우주정거장 같은 극한의 환경에서의 안정적인 채소 생산의 목적으로 생각해야 할 것이다. 혹은 도심 속 오아시스의 역할, 즉 휴식이나 교육을 목적으로 보아야 한다. 또한, 식물공장 도입에 따른 산업 성장이나 농업고도화 등 비시장적 편익을 고려해, 공공투자의 의미로 접근하여야 한다.

1. 식물공장의 필요성

농약, 환경 호르몬, 방사능 오염 작물 등에 대한 불안감이 점차 커지고 있다. 특히 농약의 경우 인체에 유해성이 있음에도 불구하고 대부분 농산물에 농약이 사용되고 있으며, 그만큼 잔류 농약의 위험 또한 높다. 농약을 사용하지 않거나 사용량을 줄여서 생산하는 친환경농산물은 전체 농산물의 2% 내외 일 정도로 대부분 농산물에 대해 농약사용이 일반화되어 있고, 그만큼 잔류 농약의 위험으로부터 노출되어 있는 것이 현실이다.¹⁾

그러한 동시에 건강을 추구하는 일명, “웰빙” 경향이 확산되어, 그 결과 가족 건강을 위해 친환경 농산물을 찾는 소비자가 계속해서 늘어나는 추세이다. 이러한 수요에 따라, 국립농산물품질관리원에서는 1990년대 이후 농산물 우수 관리 제도를 도입하여 농식품의 안전성을 확보하고, 농약, 중금속, 잔류성 유기오염 물질 또는 유해생물 등의 위해 요소를 적절하게 관리하고자 하였다.

이러한 노력의 결과로 한국농촌경제연구원의 발표에는 2011년 친환경(유기농, 저농약, 무농약) 농산물의 시장 규모는 총 3조 2,602억 원으로 추정되었으며, 이후 2020년까지 6조 9,246억 원 규모로 성장할 것으로 전망하고 있다.²⁾

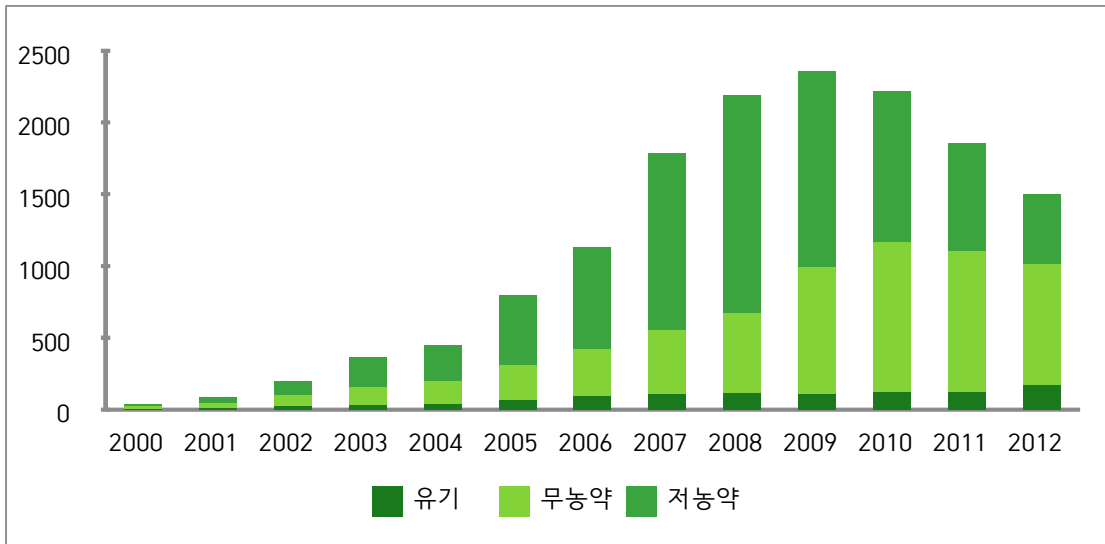


그림 1 연도별 친환경 농산물 인증실적 변화 (톤/년)

1) 제민. “농식품 안전 인증제도의 현황 및 과제”, 국회예산정책처, 2011.

2) 김창길, 문동현, 정학균. “친환경농식품의 생산, 소비실태와 시장전망”, 한국농촌경제연구원, 2012.

그럼에도 불구하고, 이러한 급격한 성장세와는 달리 친환경 농산물의 안전성 문제는 인증제도 시행 이후부터 지속해서 제기되어왔다. 2009년부터 2012년까지 친환경식재료 납품업체 선정 뇌물수수 혐의로 전 서울시 친환경센터장이 구속³⁾되는가 하면, 최근인 2014년에도 잔류 농약이 검출된 친환경농산물이 인증 취소 되지 않은 채 학교 급식용으로 고가에 납품되고 있음을 감사원에서 지적한 바 있다.⁴⁾ 이런 사건들은 친환경농산물 인증 제도에 대한 신뢰뿐만 아니라 친환경농산물 자체의 신뢰마저 의구심을 들게 한다.

이러한 이유로 인해 믿을 수 있는 농산물을 얻을 수 있는 근본적인 해결책이 필요해졌으며, 그 대안 중 실효성이 있다고 판단되는 것은 바로 식물 공장이다. 식물 공장이란 농작물에 대하여 통제된 일정한 시설 내에서 빛, 온·습도, 이산화탄소 농도 및 배양액 등의 환경 조건을 인공적으로 제어하여 계절이나 장소와 관계없이 자동으로 연속 생산하는 시스템을 의미한다. 식물 공장의 장점으로는 거의 모든 종류의 작물을 재배할 수 있고, 환경 역시 완벽하게 통제 할 수 있다는 점을 꼽을 수 있다. 따라서 예측 가능한 위험요소로부터 안전한 먹을거리를 생산할 수 있다. 또한, 사막이나 극지같이 외딴 지역이나 도심에서도 식물을 기를 수 있어 배송으로 인한 자원 소모를 줄일 수 있는 동시에 신선한 농산물을 섭취할 수 있다. 다음의 본론을 통해 최근의 동향과 전망을 알아본다.

2. 발전 과정

가. 구조

1) 수평형

1957년, 덴마크의 크리스텐센(Christensen) 농장에서 새싹채소를 컨베이어 방식으로 생산하면서 식물공장의 개념이 생겨난 이래로, 초기의 식물공장은 수평적인 공간에서 공장처럼 식물을 길러내는 수준의 방식 이었다. 60~70년대 미국에서 제너럴 밀스(General mills), 제너럴 푸드(General food), 파이토팜

3) 이태수, “檢, '업체 선정과정 뒷돈' 전 서울친환경센터장 구속“, 연합뉴스, 2014

4) 감사원, “학교급식 공급 및 안전관리실태”, 2014.

(Phytopharm) 등과 같은 기업들이 수평 식물공장 모델로 상용화를 시도했으나, 수익성이 없다는 이유로 투자를 중단하였다. 같은 시기 제너럴 일렉트릭 (General Electric, GE)과 제너럴 모터스(General Motors, GM)에서 식물공장 연구를 시작했으나 같은 이유로 상용화되지는 못하였다.

2) 수직형

1999년, 미국 컬럼비아대학의 덕슨 데스포미어(Dickson Despommier) 박사가 고층 건물을 이용한 수직형 식물공장, 일명 수직농장(Vertical Farm)을 제시하였다. 수직농장은 그 개념이 생긴 이래로 식물공장 하면 떠오르는 대표적 이미지로 자리 잡았다. 데스포미어 박사의 제안에 따르면 50층 높이의 수직농장을 세우면 시민 5만 명에게 값싼 농산물을 공급할 수 있고, 고층건물에서 식물을 다층으로 재배하면 같은 재배면적 대비 10배 정도 농장의 토지활용도를 갖춰 농경지 부족 문제를 해결할 수 있다. 반면 모든 시설을 인공적으로 만들어야 하므로 설비 및 유지비용이 많이 들어 경쟁력이 떨어질 수 있다는 단점이 있고, 도심의 비싼 땅에서 비싼 농장 건축물을 세울 이유가 있느냐는 지적도 제기되었다.

수직농장이 최초로 상용화된 곳은 싱가포르다. 싱가포르는 좁은 국토 면적 때문에 전체 채소 소비량의 7%가량만 자체 생산량으로 충당하고 나머지는 수입에 의존해왔다. 스카이 그린스(Sky Greens)에서는 철로 된 고층 구조물로 수직농장을 설계해, 하루에 약 0.5 톤 규모의 채소를 현지에 공급하고 있다. 다만 스카이가



그림 2 스카이 그린스 사에서 상용화한 수직형 식물공장

그린스 사의 수직농장은 지역 농산물 유통에 초점을 맞추었기 때문인지 광원으로 태양광을 사용하고 구조 또한 급수시설 외에 특별한 것이 없는 고층 유리온실 수준이다.

미국, 캐나다, 유럽 등도 도심 혹은 도심 주변에 고층의 식물공장 건립이 검토되고 있다. 미국의 컬럼비아대와 일리노이대 연구진은 30층, 50층 규모의 식물공장 개발에 착수했고, 캐나다 토론토시 역시 58층 규모의 식물공장을 구상 중이다. 특이한 형태로는 스웨덴의 플랜타곤(Plantagon)은 얼마 전 나선형 계단을 통해 하늘로 올라가는 건물형 농장을 만들자는 플랜타곤 프로젝트가 있다.

국내의 경우 농촌진흥청에서 연구용 식물공장을 2011년에 개관하여, 지하 1층에서 지상 3층에 이르는 철근 콘크리트 건물형 식물공장과 높이 10 m 규모에

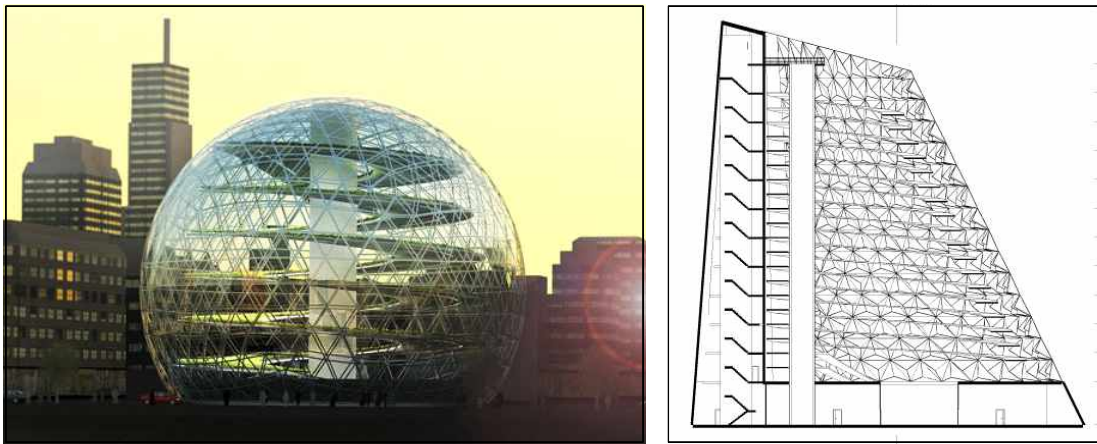


그림 3 플랜타곤 사가 제안한 나선 구조의 수직형 식물공장의 상상도와 설계도



그림 4 농촌진흥청에서 운용 중인 수직형 식물공장

광원으로 태양을 병용하는 수직형 식물공장이 존재한다. 냉난방 절감을 위해 지열펌프를 사용하고, 사용 전력의 15%를 태양광 발전으로 이용하는 등의 기술이 투입된 것이 특징이다.

3) 모듈형

일본 신슈대학 선진식물공장 연구교육센터에서는 냉동 컨테이너를 이용한 폐쇄형 소형 식물공장(컨테이너 식물공장)을 연구, 개발하고 있다.⁵⁾ 국내의 경우에도 농촌진흥청에서 컨테이너형 식물공장을 남극기지에 보급한 바 있다. 컨테이너 구조를 한 식물공장의 특징은 설치 대수를 자유롭게 선택할 수 있기 때문에 컨테이너의 증설로 규모 확대가 쉬워 소형 식물공장이든 대형 식물공장이든 모두에 대응할 수 있다는 점이다. 그 외에도 작은 단위의 기밀실을 다루기 때문에 대규모 식물공장과 비교하면 정밀한 생육 환경 제어와 병충해에 안전한 준 무균 환경에서 무농약 농산물이 생산 가능하다는 점, 그리고 극한의 환경에서도 견딜 수 있게 설계하기가 쉽다는 점 또한 큰 장점이다.

국내 인성테크 사에서는 건물 내 식물공장을 편리하게 운영할 수 있도록 모듈 형태로 공급을 하고 있다.⁶⁾ 모듈형 구조 특유의 표준화 및 단순화를 통해 설치가 쉽다는 점과 파종부터 수확까지 사용자가 별달리 손을 쓰지 않아도 식물 생산이 가능하도록 센서 및 자동화 시스템을 하나의 모듈로 통합했다는 장점이 있다. 현재 국내 고급 아파트의 공동 사용 공간, 병원, 대형마트 등에 상용화되어 이용되고 있다. 그러나 설치된 식물공장의 목적이 대부분 실내장식용이나 홍보용



그림 5 인성테크 사에서 상용화한 모듈형 식물공장의 모습

5) 野末雅之, “신슈대학 식물공장 프로젝트 컨테이너 식물공장 개발”, 計測と制御, 2012.6.

6) 인성테크, “도심형 식물공장 [모듈형]”, 2013

이고 채산성이 부족하다는 점, 그리고 공간 효율을 위한 여러 단의 조밀한 구성이 작업 능률을 저하시킨다는 지적을 받고 있다.

그 외에 모듈형은 직접 채소를 길러 먹기를 원하는 일반 가정이나 신선한 채소를 고객에게 제공하고자 하는 업소에서 설치되어 사용되기도 한다. 2009년, 샌드위치 전문점인 서브웨이에서 일본에 식물공장을 도입한 점포를 개장하여, 한 달에 약 80포기 양상추를 생산하고 판매되는 샌드위치에 바로 사용한다. 이는 전체 사용량의 5%에 해당한다고 한다. 도쿄와 나고야에 있는 레스토랑에서도 같은 방식으로 각종 채소를 일 60포기까지 생산한다. 국내에서는 2010년 롯데마트 서울역점 상추를 생산해 매장에서 판매한 사례가 있다. 업소 내에 식물공장을 설치할 경우 운송비가 들지 않고, 고객이 믿고 안심할 수 있는 채소를 공급할 수 있다는 장점이 있다.



그림 6 일본의 샌드위치 전문점 서브웨이에 설치된 식물공장

4) 아쿠아포닉스(aquaponics)⁷⁾⁸⁾

채소와 물고기를 동시에 기르는 “아쿠아포닉스” 기술이 점차 개발되고 있다. 물고기 배설물의 질소와 인 성분을 비료로 활용하고, 물은 정수 처리하여 재이용하는 기술로 환경오염과 비용을 줄일 수 있다. 물고기 1 kg의 배설물로 상추 약 20 포기 재배가 가능한 영양물질을 얻을 수 있다고 한다.

아쿠아포닉스가 적용 가능한 식물 종의 선택은 어류 수조의 밀도 및 이에 따른 영양배출물의 농도와 관련이 있으며, 상추, 허브류, 시금치, 골파, 바질, 물냉

7) 하지은, “미래형 도시농어업 아쿠아포닉스”, 해양수산부, 현지동향보고서, 2011

8) 농촌진흥청, “월드포커스”, 2013., 25호

이와 같은 식물이 양분 요구량이 크지 않아 아쿠아포닉스가 적용 가능한 것으로 알려졌다. 아쿠아포닉스, 즉 물을 재순환하여 사용하는 양식 시스템에 적합한 어종으로는 틸라피아, 송어, 농어 등의 여러 난류성/한류성 어종들이 있다.

아쿠아포닉스의 시스템은 다음과 같은 구조를 가진다. 어류양식 탱크에서 나오는 배출물은 먼저 부유 고형물의 형태에서 유기물로 만들기 위한 처리 과정을 거친다. 부유물 제거 후 수조의 물은 암모니아와 질소 제거를 위해 바이오 필터를 거친다. 필터를 거친 물은 수경재배 작물 재배틀로 들어가 식물에 양분을 제공하고, 이 과정에서 수조에 서식하는 박테리아를 통해 추가적인 암모니아 및 질소 제거 작업이 이루어진다. 최종적으로 물은 수조를 통해 수집되고 다시 어류양식 탱크로 공급된다.⁹⁾

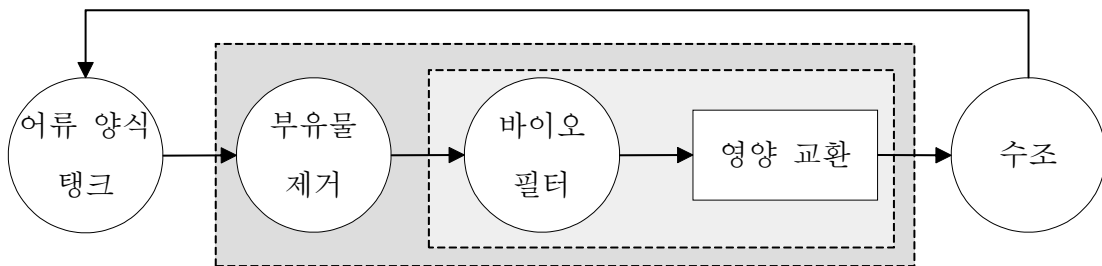


그림 7 아쿠아포닉스의 개념도

아쿠아포닉스 시스템의 공통점은 어류는 수조에서 자라고 이것이 토양이 없는 식물 재배장소에 연결되어 있다는 점이다. 토양이 없는 시스템이기 때문에 잡초가 자라지 않고, 잡초가 없어서 제초제도 필요 없다. 해충 방지를 위해서도 살충제보다는 자연적인 방법을 활용한다. 살충제가 어류에 독소로 작용할 수 있기 때문이다.

미국의 에스앤에스 아쿠아 팜(S and S Aqua Farm) 사에서는 90년대 초부터 자갈 재배틀 수경재배를 500갤런의 틸라피아 수조와 연계한 아쿠아포닉스 시스템을 운영, 현재는 전면적인 상업화에 성공하였다. 총 1,200갤런의 수조에 1피트 깊이의 자갈로 구성된 재배틀과 연계하여 바질, 토마토, 오이, 샐러드 야채류, 허브류 등을 재배하고 있으며, 틸라피아 1파운드(453 g)당 45(20 kg)에서 75파운드(34 kg)의 농작물을 생산한다. 단순 생산을 통한 이익 외에도 이러한 성공에

9) Rakocy, James E., Masserz, Micahel P. & Losordo, Thomas M. (2006). Recirculating Aquaculture Tank Production Systems: Aquaponics—Integrating Fish and Plant Culture.

관심을 가진 방문객이 현재까지 만 명을 넘어섰으며, 고등학교 생물학 수업에도 아쿠아포닉스 모델로 소개되고 있다.

반면 동시대에 아쿠아포닉스(aquaponics) 사업을 개척한 미국의 아쿠아 비타 팜스(Aqua Vita Farms) 사는 운영자금 유동의 문제점 때문에 지난해 폐업을 결정했다. 회사 창업자인 마크 도허티(Mark Doherty)는 회사의 페이스북을 통해 다음과 같이 기술하였다: “오늘 나는 여러분들에게 Aqua Vista Farms 을 공식적으로 폐사시킴을 알려드립니다. 여러 분들이 잘 아시는 것과 같이, 우리는 예상하였던 것보다 많은 재원이 필요하였으며, 사업을 계속할 수 있는 필요한 재원을 확보하지 못하였다. 우리는 전 세계적으로 투자와도 관련된 주목을 받아 왔다. 우리는 일의 속도에 맞춘 재원을 적절하게 준비하지 못하였다 현 지점에서 우리는 회사를 폐사하여야 한 처지에 놓일 수밖에 없게 되었다.”

일본에서도 활발하게 연구가 진행되어 일체형 수조에서 식물과 물고기를 동시에 키우며 식물에서 나오는 산소와 수조에서 나오는 이산화탄소를 이용하는 시스템을 개발하였다.¹⁰⁾



그림 8 에스앤에스 아쿠아 팜(좌)과 아쿠아 비타 팜(우)의 아쿠아포닉스 시설

나. 장소

- 1) 도심, 근교

10) 이공인, 최규홍, 김유호, “새로운 성장동력, 식물공장”, RDA Interrobang (10호), 2011.3.23.

플랜타곤 사의 CEO인 한스 해슬레(Hans Hassle)는 “20년만 지나면 세계인구의 80%가 도시에서 살게 된다.”면서, “도시형 농장을 만드는 것은 꼭 필요하다”고 말했다. 플랜타곤 측이 발표한 바로는 스웨덴에서는 식료품 가격의 70%가 유통·수송비용이다. 도심에서 채소를 가꾸면 수송비용을 줄일 수 있기 때문에 수익성도 충분하다고 이들은 설명했다.

운송의 문제는 단순히 비용의 문제뿐만 아니라, 그 과정에서 발생하는 온실가스로 인한 환경문제 또한 생각해 볼 문제이다. 그리고 제주도와 같은 섬의 경우 기상이나 항공편의 문제로 생산된 신선채소 운송 물량을 제대로 소화하지 못해 운송난이 거의 매년 발생하고 있다.

그러므로 식물공장을 도시 근교에 설치해야 하지만, 도시과 가까워질수록 토지 임대료 등 초기투자비용이 높아진다. 식물공장의 고질적 약점인 사업성 문제를 극복하기 위해서, 폐교를 활용해 지자체가 이를 싼값이나 무상으로 장기 임대하면 초기 투자비용을 줄일 수 있다. 경우에 따라서는 남아 있는 폐교의 골조(뼈대)를 활용할 수도 있을 것으로 분석된다. 교육과학기술부의 발표로는 전국에서 마땅한 쓰임새 없이 버려진 폐교 용지는 1,875만㎡에 달하며 장부상 가격만 7,764억 원에 달한다. 농림수산식품부에서는 식물공장 사업지로 농촌과 도심 인근의 폐교 및 부지를 이용해 식물공장 시범사업을 시행할 예정이다. 가까운 일본 역시 도시의 빈 건물이나 폐창고, 건물의 지하 등을 활용하여 초기비용을 줄임으로써 전국에 150여 개의 식물공장을 운영하고 있다.



그림 9 도심 속 식물공장의 상상도

도심의 식물공장은 운송료의 이점 외에도 도심 속 오아시스가 되어 삶의 질을 향상할 수 있다는 장점이 있다. 국내의 아파트단지, 사회복지시설, 병원, 사무실, 빌딩에 설치된 식물공장은 도시민의 정서안정 등 삶의 질 향상에 이바지하고 있다. 도심에 설치된 식물공장은 작물재배 이외에 농업체험, 관광, 식당, 영화관이 함께 하는 복합문화공간으로 활용할 수 있다.

도심 속 식물공장은 문화공간뿐 아니라 교육목적으로도 활용 가능하다. 일본 인력개발업체인 파소나 그룹은 본사 건물 내에 1000 m² 크기의 3모작이 가능한 식물공장을 설치한 뒤, 도시민과 학생들을 대상으로 모심기, 수확, 시식 등 체험 및 견학 프로그램을 도입하였다. 호주와 아일랜드에서는 식물공장에서 기르는 식물의 성장 정보를 실시간으로 웹에 전송하여 어린이들에게 환경과 식물 성장의 연관성을 교육하고 있고, 국내의 경우 롯데마트 서울역점에서 식품매장에 식물공장을 설치하고 유치원 어린이가 자신의 이름이 붙은 식물이 자라는 모습을 관찰하게 하는 행사를 진행한 바 있다.



그림 10 파소나 사의 건물 내 식물공장

2) 주거 시설 내부

도시화가 진행된 거주지에서도 사람들은 텃밭에서 직접 채소를 길러 먹고 싶은 욕구가 있었다. 그래서 그들은 옥상 위나 베란다에 텃밭을 만들었다. 바로 이 주거 복합형 식물공장의 개념이 생겨나기 전까지는 말이다. 옥상 위 텃밭보다 진화된 형태의 이 식물공장은 문자 그대로 운송료가 전혀 들어가지 않는다는 점과 자신이 먹을 채소를 직접 기르는 성취감을 맛볼 수 있다는 장점이 있다. 현재 국내외에서 재배기 수준의 다양한 가정용 식물공장들이 판매되고 있다.

국내의 경우 카스트친환경농업기술사에서 가정용 식물공장을 제작 판매하고 있다. 가정에서 사용하는 만큼 낮은 전압의 직류를 사용해 혹시라도 발생할 수 있는 감전 사고에 대비하였다. 그 외에 눈에 띄는 가정용 식물공장에는 정보기술사의 공기정화 기능을 갖춘 식물공장, 휠코리아사의 건물 내에서 인삼을 기를 수 있는 식물공장 등이 있다.



그림 11 카스트친환경농업기술(좌)과 휠코리아(우)의 가정용 식물공장

외국의 사례로는 이스라엘 건설회사 크나포 클리모르(Knafo Klimor Architects)사가 설계하고, 중국에서 진행 중인, 농장을 포함한 아파트 단지라는 개념의 애그로 하우스(Agro-Housing) 계획이 있다.



그림 12 애그로-하우스 시설의 예상도

다면 이 주거 복합형 식물농장 역시 다른 형태와 마찬가지로 경제성이 부족하다는 치명적 약점이 있기 때문에, 구입하기 힘든 특용 작물을 길러 먹는 용도로 이용되거나 혹은 단순히 값비싼 취미 정도로 인식되고 있다.



그림 13 “구입하기 힘든 특용 작물”을 기르던 주택 내 식물공장 (검거완료)

3) 극한 환경

미국은 초기 우주에서의 신선채소 공급을 목적으로, 완전히 밀폐된 공간에서 인공조명만을 이용한 식물공장의 연구를 진행하였다. 그러나 당시 채산성 부족을 이유로 중단되고 도심 내 수직공장의 개념으로 변화하였나, 최근 관련 기술이 고도화됨에 따라 다시 우주개척목적으로 연구가 진행되고 있다.

1978년부터 미 항공우주국(NASA)에서는 폐쇄생태계 생명유지시스템(CELSS) 프로그램¹¹⁾을 통해 특수 환경에서의 생물 생육을 위한 연구가 진행되고 있으며, 바로 생산 적용 가능한 수준의 연구 결과를 도출해냈다. 또한, 미 애리조나대학에서는 달 표면에 설치할 접이식 온실을 연구하고 있다.

일본 역시 오사카대와 오사카의 중소기업 2사가 공동으로 무중력에서의 식용 식물의 생육실험을 하며 우주공간에서 활용 가능한 식물공장의 연구를 진행하고 있다.

국제우주정거장과 미 케네디우주센터에서는 우주 및 극지에서 식물 재배를 위해 식물공장 기술을 핵심 연구과제로 지정했다. 극지 환경의 경우 국내의 농촌진흥청이 해양연구원과 공동으로 개발하여 제공한 컨테이너 형태의 식물공장이 이미 남극 세종기지에 설치되어, 기존 보급물자에 의존하던 채소류를 자급하고 있다. 영하 40~50℃의 극한 환경인 남극에서도 열의 손실이 적도록 컨테이너 내

11) Maurice M. Averner, Ph.D. “The NASA CELSS Program“, NASA CELSS and Biospherics Programs, Life Sciences Division, NASA Headquarters, Washington D.C.

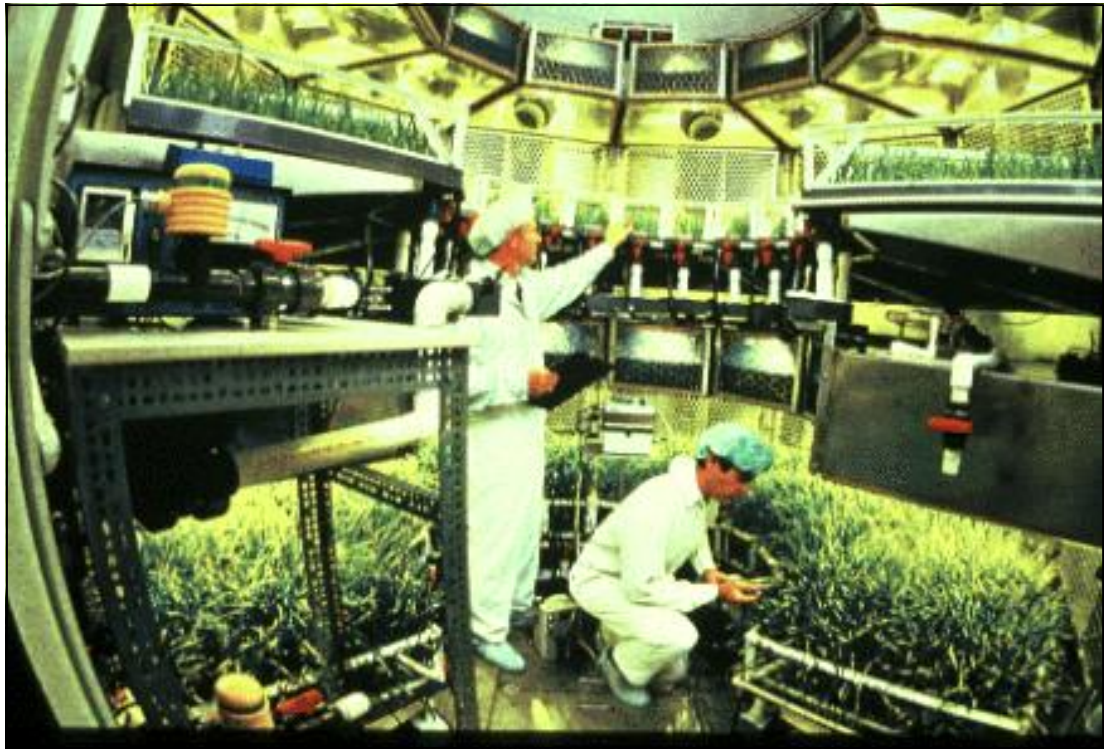


그림 14 NASA의 CELSS 프로그램



그림 15 애리조나대학의 접이식 식물공장

벽에 우레탄을 두껍게 설치하였고, 하나의 컨테이너 식물공장에서 하루에 1 kg의 채소를 생산할 수 있다. 이는 세종기지에 파견된 연구원 1인이 하루에 50 g 정도 섭취할 만큼의 양으로, 충분하지 않으나 비타민과 엽록소의 공급에 도움이 될 것으로 기대된다.

또 다른 극한 환경인 사막의 경우에도 경기도농업기술원에서 2012년, 자동화된 식물공장 시설에 태양광과 지열 발전시스템을 접합한 에너지 절감형 친환경 스마트 식물공장 개발에 성공했다. 이 식물공장은 태양광과 지열 발전을 이용해 사막 지역에 특화된 덕분에, 지역 특성상 채소 대부분을 수입하고 있는 카타르의

국립식량안보증진기구(QNFSP)와 식물공장 공동개발과 보급 등을 주 내용으로 하는 협약을 맺었다. 카타르 전체 채소 소비량의 20% 정도를 식물공장에서 생산한다고 가정할 때 약 1천 개의 식물공장이 필요하며, 그만큼의 식물공장이 설립될 것으로 예상된다.

위와 같은 기술들을 이용하여 다른 환경인 해양기지나 해저, 혹은 대형 선박에서 이용 가능한 식물공장 또한 개발 가능할 것으로 예상된다.



그림 16 남극 세종기지에 보급된 컨테이너형 식물공장



그림 17 경기도농업기술원에서 개발한 태양광과 지열을 이용한 식물공장

다. 빛

1) 태양광

태양은 무한하면서 동시에 청정한 에너지원으로 오랫동안 인류의 식량 생산을 뒷받침해온 광원이다. 투명한 비닐 등으로 포장을 덮은 시설원예나 온실재배는

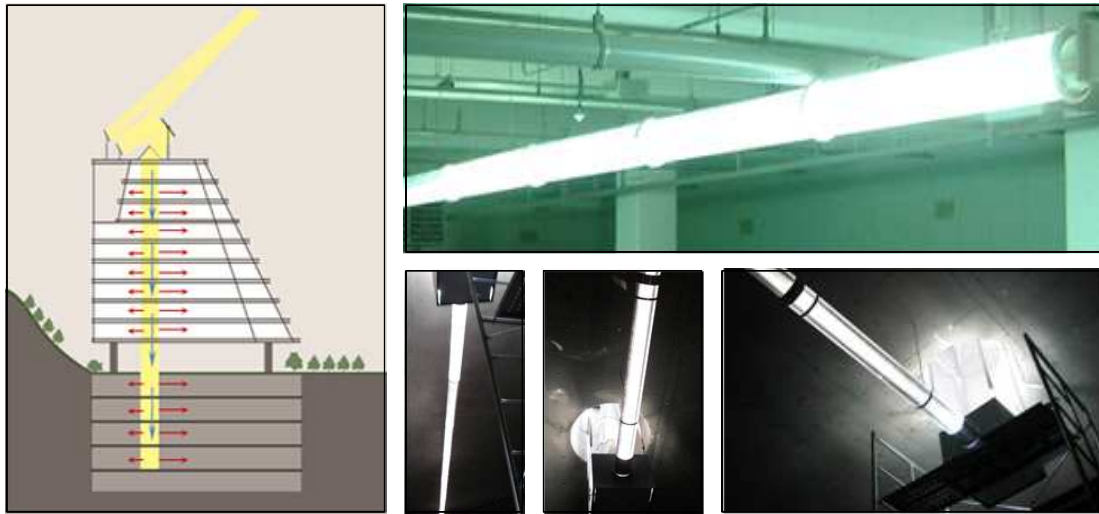


그림 18 외부 태양광을 내부로 이송하는 광파이프

오래전부터 실용화되었고, 초기의 식물공장에서도 주요 광원으로 이용되었다.

그러나 식물공장이 수직 건물이나 컨테이너 구조로 발전함에 따라 직사되는 태양광을 이용하기 어려워졌으며, 그에 따라 태양광을 공급하는 기술 역시 발전하여 반사판이나 광섬유, 광파이프 등을 통해 건물 내에 빛을 공급하는 시스템이 개발되었다. 일본 신슈대학의 컨테이너형 식물공장 프로젝트에서는 석영렌즈로 빛을 모아 광섬유를 통해 식물공장에 빛을 공급했다. 또한, 렌즈 색수차를 이용해 적외선과 자외선을 제거해 광합성에 필요한 400~700 nm의 광합성 유효 방사율을 확보했으며, 도광한 태양광에는 생물에 해로운 자외선이 포함되어 있지 않아 식물에 대한 손상이나 플라스틱 재료의 열화를 억제했다. 이와 같은 방법은 태양광의 단점인 광량제어를 개선할 수 있는 방법의 하나이다.

비용이 거의 들지 않는다는 장점에도 불구하고 태양광은 에너지 효율이 낮다는 점과 일조시간제어가 불가능하다는 치명적인 단점이 있기 때문에 대부분의 식물공장에서는 태양광과 인공광을 복합적으로 사용하거나, 인공광만을 사용하는 완전제어형 식물공장으로 개발이 진행되는 추세이다.

2) 인공광

초기의 식물공장은 가시광 변환율이 30%로 높고 경제성이 있는 나트륨 등을 태양광의 보광용으로 많이 사용하였다. 그러나 나트륨등의 단점으로는 식물에 필

요한 적색과 청색 파장의 비율이 적다는 점, 발열이 많아 식물과 거리를 충분히 두어야 하므로 다단식재배가 불가하다는 점이 있다. 그 외에도 수은 등이나, 메탈할라이드 등, 형광등 등이 식물공장용 인공광원으로 사용되었으나, 대부분 발광효율이 낮고 수명이 짧은 등 여러 단점이 존재했다. 최근의 경우는 특정 파장의 광을 공급할 수 있고, 경량화, 고효율화가 진행된 LED를 주요 광원으로 사용하고 있는 추세이다.

인공광은 태양광을 보광하기위한 목적에서, 태양광이 완전히 차단된 극한의 환경에서 식물공장을 가동하기 위한 목적으로 개발되고 있다. 인공광만을 사용하는 완전제어형 식물공장은 태양광을 투과시키지 않는 단열성 재료를 사용하여 외부 기상조건과 완전히 차단하여 외기온과 태양의 영향을 거의 받지 않고, 광합성에 필요한 에너지를 인공광원으로부터 얻는 생산시스템이다. 이 방식은 용이하게 최적생육환경조건에서 식물을 재배할 수 있어 주년 계획생산이 가능하나 인공광원만으로 조명하게 되어 광량 및 광질에 한계가 있다. 또한, 강한 빛이 있어야 하는 작물을 재배하기 어렵고 조명전력비 및 인공광원에서 발생하는 열을 제거하기 위한 냉방부하가 커져 공조시설비용 등의 초기투자 비가 많이 들고 유지관리비가 증가하는 단점이 있다. 이 방식으로 재배 가능한 식물은 주로 광요구도가 낮은 잎채소류가 중심이 되고 있다.¹²⁾

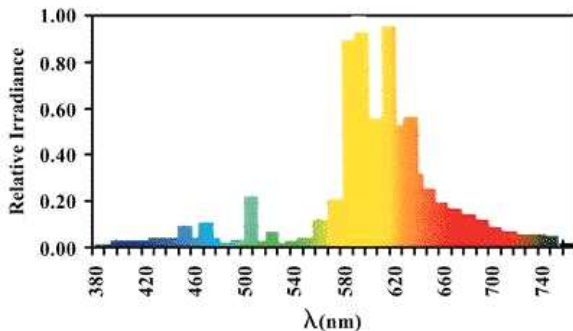


그림 19 나트륨등의 스펙트럼(좌), 나트륨등을 사용한 파소나 사의 식물공장(우)

3) 파장

식물의 광합성에는 특정 파장의 빛이 필요하므로, 모든 파장을 빛을 쬐어주는 것보다는 선택적으로 빛을 제공해주는 것이 광원에 들어가는 비용을 줄일 수 있

12) 이용범, 최기영, “선진국의 식물공장 현황”

다. 농촌진흥청에서 LED의 파장을 달리하여 파프리카의 생장을 관찰한 결과로는, 붉은색 혹은 푸른색 LED를 광원으로 이용해 기른 파프리카는 자연광과 비교하여 4배, 형광등과 비교하면 1.5배로 수확량이 향상되었다. 반면 소모되는 전기 에너지는 형광등의 34~38%에 지나지 않는 것으로 관찰되었다.¹³⁾

네덜란드의 플랜트 랩(Plant Lab) 사에서는 LED를 이용해 1000 m² 규모의 식물 공장을 상용화하였다. 식물에 필요한 모든 영양분을 공급하는 붉은색, 푸른색의 LED 조명을 사용하여 일반 온실에서의 식물 재배법보다 약 12~18%까지 식물 생산량을 높였다.¹⁴⁾

표 1 LED 파장에 따른 파프리카의 수확량; 무게(개수)

광원	수량 (g)				
	1주	2주	3주	4주	계
청색LED	1,305 (11z)	637 (6)	359 (3)	119 (1)	2,420 (21)
적색LED	1,051 (9)	1,074 (7)	453 (3)	141 (1)	2,719 (20)
백색형광등	731 (5)	808 (7)	0 (0)	101 (1)	1,640 (13)
태양광	0 (0)	300 (3)	93 (1)	212 (2)	605 (6)

4) 고속 점등

식물의 광합성 과정은 명반응(광화학반응)과 암반응(효소반응)으로 나뉘는데, 암반응 중에는 빛이 필요하지 않다. 따라서 명반응 도중에만 선택적으로 빛을 쬐어주면 식물의 광합성 양에는 차이가 없으나, 전기 에너지는 그만큼 절약할 수 있을 것이다. 다만 반응이 전환되는 시간은 마이크로에서 밀리 초 단위의 아주 짧은 시간이어서 과거의 기술로는 시험이 어려웠던 한계가 있었다. 그러나 LED는 점등 시간의 조절이 어렵지 않기 때문에 실제 실험이 가능했다.

카스트린환경농업기술에서는 LED 조명을 연속으로 비취 줄 때와, 빠른 속도로 점등할 때, 조명에 초록색 빛(525 nm)을 포함했을 경우, 또 형광등만을 조명으로 사용했을 때의 상추 생산량 대비 전력소모량을 비교했다. 실험 결과 LED를 고속 점등 하는 방법이 식물을 더 빨리 자라게 할 수 있으리라는 예상은 빗나갔으나, 이 방법이 식물성장 효과에서는 연속조명과 큰 차이가 나지 않는다는 결론

13) 김용현, "LED 조명을 이용한 파프리카의 묘소질 향상 기술", 농촌진흥청, 2011.

14) Plant Lab, <http://www.plantlab.nl/4.0/>

을 얻었으며, 전기 절약 면에서 약 1.84배 이익을 얻었다.¹⁵⁾

표 2 LED(적+ 청) 고속 점등에 따른 상추 생산량과 소비전력

	LED 연속조명	LED Duty 50%	LED Duty 25%	LED 연속+ 녹색광포함	형광등
생산량(g)	429	415	399	394	417
소비전력(kWh)	22.214	16.848	11.494	22.214	52.416
전력/생산(kWh/100g)	5.179	4.597	2.807	5.638	12.569

3. 국내 현황¹⁶⁾¹⁷⁾

가. 동향

우리나라 식물공장 시초는 1990년 초 농림수산식품부에서 첨단기술 농업 적용으로 유리온실 지원사업을 실시한 것이다. 이후 양액, 환경제어 및 자동화 기술 응용 연구되어, 1993년부터 육묘공장 상업화되었다. 이는 실내 수경재배기술 근간이 된다. 1997년, 농업공학부에서는 식물공장시스템 연구 착수했고, 이어 2004년, 서울대 농업공학부에서 한국형 식물생산공장 모델 개발을 확립했다. 농촌진흥청에서는 2009년부터 2012년까지 수직형 식물공장 자동화 시스템 연구를, 2011년부터 2013년까지는 인공광형 식물공장 운영 매뉴얼을 연구했다. 농림수산식품기술기획평가원(IPET)에서는 2010년부터 2012년까지 식물공장 핵심요소기술을 개발했다.

나. 식물공장 연구소, 기업 현황

중소기업, 농업법인 완전제어형 식물공장 회사는 약 22개소이며, 전자 설비 IT

15) 박후원, “식물공장과 LED 조명의 과학적 고찰”, 카스트친환경농업기술

16) 최기영, 송호석1, 명동주2, “식물공장의 사업화 방향“, 서울시립대학교, 1세기교역상사, 2 한빛들㈜, 2012

17) 농업기술실용화재단, “도시농업 산업동향 보고서“, 2012..12.

제조업종이 16개소로 72.7%를 차지한다. 식물을 생산하는 회사는 7개소로, 생산물의 판매는 3개소에서 진행 중이다. 전시용 모듈형 식물공장이 6곳 설치 운영되었으나, 식물공장 전문 운영 관리 부족으로 인한 식물 유지관리 및 재배에 어려움이 있다.

표 3 국내 식물공장 연구소, 기업 목록 (53개소)

대학(9)	정부출연(13)	대기업(10)	중소, 농업법인(21)
경상대, 공주대, 서울대, 서울시립대, 세종대, 전남대, 전북대, 제주대, 충남대 등	농업공학연구부, 국립원예특작과학원, 전자부품연구원, 전주생물소재연구소 도농업기술원 (경기, 충남북, 경남북, 강원, 전남북, 제주 등 9개)	농심, 동부그룹*, 롯데, CJ, LG전자, 포스코 KT 올레 LIG건설 풀무원 등	고려냉장식품(주), 그린플러스, 대영GS, 리프레시함양(주), (주)맥스포, (주)서울반도체, 세기교역, 솔트웨어, 아이팜(주), (주)LG CNS, (주)인성테크, (주)오디텍, (주)유양디엔유, 태연 친환경농업기술, 카스트친환경농업기술 파루, 파루스LED, FC포이베, 헤파스, 휠코리아, 넥스트팜(주)
연구용	연구 → 실용화	투자검토 (*상업화)	연구 → 사업화

다. 투자 및 연구지원

정부에서 식물공장 관련 기술 개발에 적극적인 투자 지원하여 11년 연구 과제는 08년에 비해 9.4배 (5과제 → 7과제) 증가하였고, 참여연구인력 13.5배 (50명 → 675명) 급증했다.

농촌진흥청은 2010년 3월 빌딩형·수직형 식물공장 연구동을 개관하고 본격적인 식물공장 연구에 착수했다. 지식경제부는 2010년 7월 신성장동력 스마트 프

로젝트 사업에 ‘IT-LED 기반 식물공장을 위한 핵심부품 및 핵심기술 개발’ 과제를 선정하고 30억 원을 투자하겠다고 발표했다. 전라북도는 2009년 ‘농생명 LED 융합기술 지원센터’를 개소하고, 2011년말까지 495 m² 규모의 식물공장을 완성하여 브랜드 상품을 출시할 예정이다.

이외에도 경기도, 경상북도, 광주시, 남양주시 등이 식물공장 사업에 선도적으로 나서고 있으며, 인성테크, 파루스, 카스트 등 식물공장을 수익모델로 하는 전문기업들도 속속 등장하고 있다.

표 4 정부 지원 연구 과제 목록(2010)

	사업명	연구 과제명
농식품부	농림기술개발	식물생산공장 핵심요소기술개발
지식경제부	광역경제권산업육성 산업융합원천기술 정보통신기술	생리감응형 LED 조명시스템개발 IT-LED 기반 식물공장 핵심기술 및 부품개발 식물공장생산성향상 에너지절감 인공조명제어기술
교육과학부	광역경제권인재양성 일반연구자	에너지자립형 그린빌리지 핵심기술사업 식물공장 common iceplant 생산시스템개발
농촌진흥청	국책기술개발 농업공학/농업환경/ 시설원예/원예시험	엽채소 수직형 식물공장 자동화 시스템 식물생산공장 광원 환경제어시스템 개발 첨단유리온실 환경관리시스템 개발 등
중소기업청	산학연공동기술개발	Agriphotonics 활용형 작물재배 및 LED 모듈디자인 최적화 기술
서울시	서울전략산업	그린네트워크를 이용한 도시환경 적합한 식물재배 및 성장시스템 개발

라. 특허18)

특허청에 의하면, 식물공장에 관련된 특허출원은 지난 10년간 101건이 출원되었는데, 2008년까지는 출원 건수가 매년 5건 미만에 불과했던 것이 2009년 11

18) 특허청, “첨단 농업 ‘식물공장’, 한겨울에도 신선 채소가 쑥쑥 !”, 보도자료, 2012

건, 2010년 38건, 그리고 2011년에는 36건으로 최근 출원 건수가 급격히 증가하고 있다. 이는 전통적인 노지재배에서 시설·수경재배 시대를 지나 식물공장이 새로운 첨단 농업의 한 분야로 발전해 나가고 있음을 의미한다고 볼 수 있다.

특허출원을 기술 분야별로 살펴보면, LED 조명, 형광등, 태양광 등의 광원 관련 기술이 38%, 식물공장 자동제어 관련 기술이 37%로 전체 출원 건수 중 가장 많은 비중을 차지하고 있다. 또한, 재배 자동화 관련 기술은 11%를 차지하고 있으며, 수경재배 관련 기술은 9%로 양액을 기반으로 하는 기존의 수경재배 기술이 식물공장에 적용되는 정도에 머물고 있다. 특히 광원 관련 기술의 경우 LED 조명 관련 기술이 23건으로 60% 이상을 차지하고 있어 형광등(5건) 및 태양광(1건) 관련 기술의 출원이 상대적으로 미비한 실정이다.

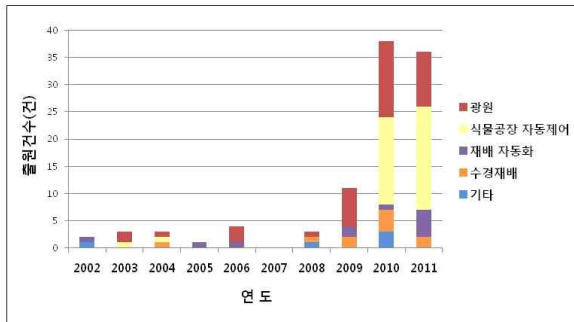


그림 20 연도별 특허출원 동향

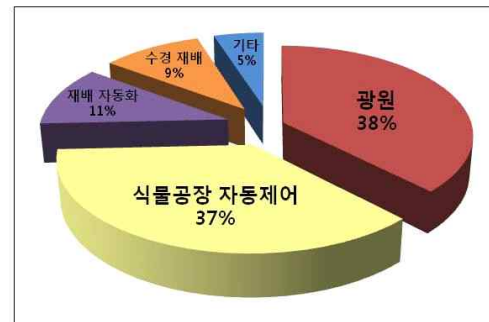


그림 21 기술 분야별 특허출원 동향

국내의 식물공장은 대개 상추 등 신선채소를 재배하고 있으며, 최근에는 메밀 싹, 보리 싹 등의 새싹 채소, 시금치, 인삼을 비롯하여 항산화 물질이 다량 함유된 아이스플랜트(Iceplant)와 같은 기능성 채소가 생산되어 고급 식자재로 유통되고 있다

마. 기술수준¹⁹⁾

식물공장 시스템에 관한 국내 연구는 초기 단계다. 재배기술 관련 기초연구는 수행되었지만, 환경관리 시스템은 온·습도 등 개별 환경제어 기술에 대한 일부 연구된 수준이다. 주목할 만한 기술은, 네트워크를 이용한 인터넷 환경 제어기술 (개발완료), 인터넷 및 카메라와 휴대폰에 의한 원격 제어기술 (개발단계), 인공

19) 한덕례, “식물공장 현황 및 발전전망 심포지엄 결과”, 김포시농업기술센터

광을 이용한 식물재배 기술 (연구단계), 작물재배 공정시스템은 엽채류의 파종, 육묘, 주간조절 등에 대한 연구 및 분화류를 대상으로 분의 입반출, 이송, 간격조절 등에 대한 연구 (수행 중) 등이 있다. 현재 싹채소의 생산은 파종, 육묘, 관수, 수확 등으로 대부분 인력에 의존하고 있어, 기술개발이 필요하다.

표 5 국내외 식물공장 기술 수준 비교

기술 내용	국내	선진국
자동화	일부 국공립연구소 및 대학에서 수행 수평형 식물공장 자동화 시스템 기초 연구	식물공장 시스템 실용화
싹채소 공정생산 자동화	수평형 이송시스템 연구 새싹채소 생산용 관수 및 광환경 설비 자동화 시스템 기초연구	회전드럼형 재배시스템 실용화 온도, 습도, 광 등 자동제어 시스템 상용화
식물생산 환경제어	일부 국공립연구소 및 대학에서 수행 개별환경 요인계측에 의한 자동제어	고도환경제어시스템 개발 PID제어, 적응제어, 최적제어 식물의 생체정보에 의한 환경제어
인공광원 제어시스템	육묘생장 및 형태형성제어 연구 초기 단계 LED 등 광원의 제어시스템 연구단계	새로운 광원 개발 및 조명방법 연구 여러 종류의 광원혼합기술을 이용한 육묘생장 및 형태형성제어 연구

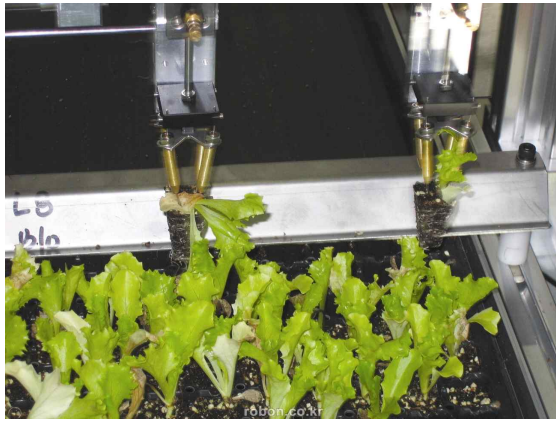


그림 22 이식로봇 (농진청, 2010)



그림 23 파종기 (농진청, 2004)



그림 24 배액 회수 및 희석장치(농진청, 2004)



그림 25 배액 살균장치(농진청, 2004)

4. 문제점20)

가. 환경 및 에너지

식물공장이라 하면 으레 친환경적일 것으로 생각하기 쉽지만, 실상은 그렇지 않다. 고려대학교 식품자원경제학과에서 국내 식물공장의 에너지 투입량 및 이산화탄소 배출량을 조사한 바로는 식물공장은 시설채소와 비교하면 약 60배 많은 에너지를 소모했다.

20) 임송택, 양승룡, “식물공장은 지속가능한 대안인가?”, 한국농업정책학회, 2011

소모된 에너지의 계산은 다음과 같다. 국내 모 상추 식물공장의 생산규모는 월간 상추 1만 포기(1.2톤, 포기당 120 g 기준)며, 전기요금은 월평균 1.5백만 원 정도이다. 월평균 전기요금을 월간 상추 생산량으로 나눈 결과 상추 1 kg당 전기요금은 1,250원이며, 전기사용량은 34.3 kwh로 산정되었다(농사용전력(병) 전력량요금 36.4원/kwh 적용 기준). 시설상추에 적용한 방법과 같게 환경성 자료를 가공, 분석한 결과, 식물공장상추 1 kg 생산에 따른 1차 에너지 투입량은 309.066 MJ, 이산화탄소 배출량은 14.560 kg인 것으로 나타났다. 다시 말하면 식물공장에서 상추 1 kg을 생산하기 위해 경유 8.7 l에 해당하는 에너지(309 MJ/kg)가 투입되고, 상추 중량의 약 15배에 달하는 14.6 kg의 이산화탄소가 배출되는 것이다. 반면 시설상추 1 kg 생산에 따른 1차 에너지 투입량은 4.897 MJ이었다. 즉 시설상추 1 kg 생산에 따른 에너지 관련 이산화탄소 배출량은 0.252 kg으로 운송에서 들어가는 에너지를 고려하더라도 식물공장이 시설재배보다 친환경적이라는 결과를 얻었다.

표 6 상추 1 kg 생산에 따른 시설상추 및 식물공장의 경제성, 환경성 비교

구 분	시설	식물공장	식물공장/시설 (배)
생산비 (원)	1,060	14,428	13.6
소비자가격 (원)	6,505	12,000	1.9
영농광열비 (원)	36.3	1,250.0	34.5
1차 에너지 투입 (MJ)	4.897	309.066	63.1
이산화탄소 배출 (kg)	0.252	14.560	57.7
이산화탄소 배출 비용 (원)	5.7	330.9	57.7

이는 앞으로 기술 발전에 따라 LED 인공광원의 효율성이 지금보다 3배 이상 높아져 광전환 효율이 이론적 한계치에 도달한다고 가정하더라도, 상추 1 kg 생산에 따른 이산화탄소 배출량은 농산물 중량의 약 5배인 5 kg 수준을 유지할 것으로 예상된다.

게다가 농업용 전기요금은 다른 용도에 비해 싸게 공급하고 있을 뿐, 생산에 들어가는 비용과 배출되는 오염물질은 다른 용도의 전기를 생산할 때와 같다. 카스트친환경농업기술에서는 전기요금 문제에 대해 다음과 같이 지적하였다. “전기요금만 싸다고 해서 전기를 마구 사용하는 방식으로 식물공장을 운영하는 것은 옳은 일이 아니다. 식물공장을 운영하는 기관은 전기사용 절감과 탄산가스 배출량을 줄이기 위해 엄청난 노력을 해야 하고, 더 높은 차원에서의 명실상부한 그린 에너지사업으로 이끌어 올려야 할 막중한 책무를 지니고 있는 것이다.”

나. 채산성

고려대학교 식품자원경제학과에서 연구한 바에 따르면 국내에서 운영되고 있는 식물공장의 현황을 조사한 결과, 상추 1 kg의 생산비가 1만 4428원으로 시설상추(1,060원/kg) 대비 약 14배에 달하는 것으로 나타났다. 우리나라보다 식물공장 운영이 활성화된 일본의 경우도 마찬가지다. 식물공장 시설은 일반 하우스시설의 17배 정도의 운영경비가 드는 것으로 알려져 있다.

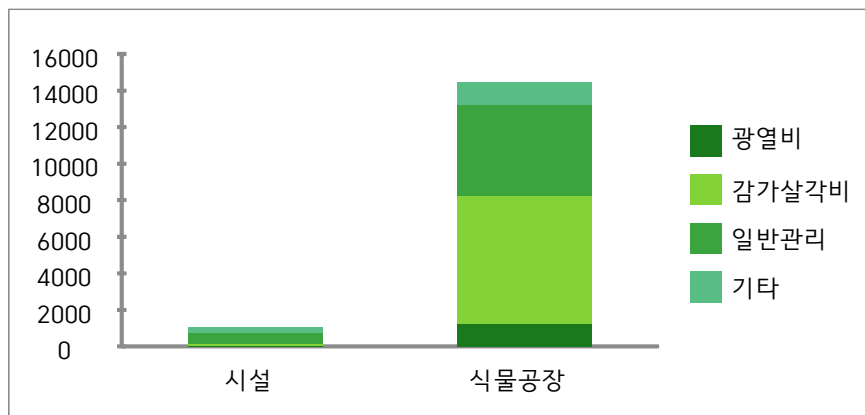


그림 23 식물공장상추와 시설상추의 생산비 비교 (단위: 원/kg)

식물공장의 경제성이 낮은 이유는 조명설비의 설치와 운영으로 인한 높은 감가상각비와 광열비 때문이다. 환경성이 낮은 이유 또한 인공광원과 인위적 환경 제어에 들어가는 높은 에너지 투입에 기인한다. 지금까지 농약, 비료 및 농기계(연료)와 같이 직접 또는 변형된 형태의 에너지 투입이 농업의 생산성을 높이는 데 이바지해왔지만, 태양에너지를 인공에너지로 대체하는 식물공장의 경우는 투

입 에너지 대비 생산성 향상 효과가 낮다. 즉, 태양광 광합성을 인공광 광합성으로 전환하는 데 따른 높은 에너지비용이 식물공장의 낮은 경제성과 환경성의 원인인 것이다.

5. 결론

첨단기술의 융합 적용이 필요한 식물공장은 국내의 기술력에 비추어 볼 때, 경제성이 없다고 볼 수 있다. 정부 혹은 관련 기업에서 지속해서 연구 개발을 하고 있다고는 하나, 소자본으로 상업적 성공을 거둘 만큼 큰 식물공장은 개설 불가능한 실정이다. 상업화를 성공한 몇몇 식물공장의 경우에도 경제성 측면에서 낮은 성과를 보여주고 있다. 심지어 식물 생산으로 생긴 적자를 신규 진입을 희망하는 기업에 상담을 해주는 비용으로 메우는 기업까지 있다고 한다.

또한, 경제적 측면과 아울러 환경의 문제에서 보았을 때도 식물공장은 낮은 점수의 평가를 받고 있다. 식물공장 상용화의 큰 걸림돌인 경제적, 환경적 문제는 생산규모가 커지고, 기술진보가 이루어진다 해도 쉽사리 해결되지 않으리라고 생각된다. 이 때문에 연구기관과 환경단체를 중심으로 식물공장을 재고해야 한다는 목소리마저 나오고 있다. 식물공장을 한국농업의 경쟁력 강화를 위한 대안 중 하나로 생각하는 것에 대해 신중하고 비판적인 접근이 필요하다는 것이다.

그러나 과거 60~70년대 미국에서 식물공장에 대한 투자가 끊긴 뒤 90년대 들어서 다시 연구가 재개된 것을 볼 때, 또한 과거 수많은 기술이 재래기술에 미치지 못해 사장될 위기에 처했다가도 다시 연구되어 상용화된 사례들을 볼 때, 식물공장 기술은 언젠가 새로운 농업의 경쟁력 있는 대안이 될 것으로 생각된다. 그리고 지금의 연구와 투자가 그리고 그 순간을 가능케 할 것이다.

그렇기에 단순히 현재의 사업성 기준에서 벗어나서, 식물공장 도입에 따른 관련 산업 성장이나, 농업고도화 등 비시장적 편익까지 고려하여야 한다. 서비스업과 제조업의 성장은 나날이 빨라지고 있지만 반대로 농업은 성장이 거의 정체되어있다고 볼 수 있다. 선진국들은 식물공장 분야를 미래의 신시장 선점을 위한 장기적인 공공 투자의 의미로 접근 중이다. 우리 또한 농업경쟁력 제고와 신성장동력으로써의 식물공장 투자에 인색하지 않아야 한다.

물론 현재의 식물공장이 전혀 희망이 없는 수준은 아니다. 전주생물소재연구소에서는 4년근 인삼을 18개월 이내에 재배한 실적이 있고, 남극과 같은 극한환경에서는 경제성의 논리 없이도 도입이 반드시 필요하다. 더구나 논문의 서론에서 서술한 바와 같이 안전한 먹거리의 측면에서 본다면 식물공장은 기존 농업의 완벽한 대안이다.

또한, 경제성과 환경의 문제를 해결하기 위한 방안 역시 지속적으로 연구되고 있는 부분이다. 예를 들면 식물공장 외부에 있는 이산화탄소를 포집하여 식물공장에 공급할 경우, 도시의 이산화탄소를 줄일 수 있는 효과를 얻을 수 있다. 혹은 이산화탄소 발생이 많은 식물이나, 동물에서 배출되는 이산화탄소를 이용하는 방법도 있다. 또 다른 예로는 식물공장에 사용되는 물을 도시 중수로 이용하고, 식물공장에서 발생하는 수증기는 포집하여 깨끗한 식수로 사용하는 것을 생각할 수 있다. 미국 컬럼비아 대학에서 추진 중인 50층짜리 수직농장(Vertical Farm)은 작물에서 발산한 수증기를 모으면 하루에 62만 리터로 서울시민 2,175명이 하루에 사용할 물을 공급 가능하다고 밝힌 바 있다.²¹⁾ 기타 에너지 및 비용을 절감하기 위해 광촉매를 이용해 폐양액을 정화하여 순환시키는 등의 연구 역시 활발하게 진행되고 있고, 본인 역시 관련 실험에 참여했으나, 아직 실험이 끝나지 않아 정확한 결과가 나오지 않은 관계로 본 논문에 신지는 않았다.

그 외에도 본문에서 언급한 것과 같이 관광이나 체험학습 목적의 식물공장 역시 좋은 평가를 받고 있으며, 국내에서도 모 대형마트에서 어린이 교육용으로 활용한 사례가 있다. 포기마다 유치원 아이들의 이름표가 달려있는데, 지역의 단체에서 신청하면 원아들의 이름표가 붙여지고 장을 보러 올 때마다 어린이들이 자신의 채소가 자라는 모습을 볼 수 있게 한 것이다. 서울에서 진행 중인 도시농업 계획에서는 단순히 전통적인 농사 외에 식물공장을 활용하면 홍보나 기술 개발 지원에 큰 도움이 될 것이다.

향후 식물공장이 본래의 목적인 농업 분야에서 실용적 결과를 얻기 위해서는 인공광원 및 환경제어 분야 핵심기술의 확보와 더불어, 태양광 및 재생에너지를 접목하여 에너지 비용을 최소화해야 할 것이며, 식물공장 자체뿐만 아니라 식물공장 재배에 적합한 신품종의 개발이 동반되어야 한다. 나아가 식물공장이 부가

21) 한덕례, “식물공장 현황 및 발전전망 심포지엄 결과”, 김포시농업기술센터

가치가 높은 약용식물과 기능성 물질이 다량 함유된 형질전환 식물의 대량생산에 적극적으로 활용된다면, FTA에 따른 한국농업의 위기, 혹은 환경호르몬이나 방사능으로 인한 세계적 먹거리 문제를 극복하는 해결책으로 자리매김할 수 있을 것으로 기대된다.

6. 참고 문헌

1. 감사원, “학교급식 공급 및 안전관리실태”, 2014.
2. 김용복, 이향미, “농산물 품질인증 제도 현황 및 실태분석“, 농업기술원, 농업생명환경연구(24호), 2012.12.
3. 김용현, "LED 조명을 이용한 파프리카의 묘소질 향상 기술", 농촌진흥청, 2011.
4. 김연중, 한혜성. “식물공장의 전망과 정책 과제”, KREI 농정포커스(49호), 2013.3.7.
5. 김창길, 문동현, 정학균. “친환경농식품의 생산, 소비실태와 시장전망”, 한국농촌경제연구원, 2012.
6. 농림수산물식품부, “미래농업의 성장동력인 ‘식물공장’ 시범 추진“, 2012년.
7. 농업기술센터, “안정적이고 친환경적인 인삼 수경재배법”
8. 농업기술실용화재단, “도시농업 산업동향 보고서”, 2012.12.
9. 농촌진흥청, “월드포커스”, 2013., 25호
10. 농촌진흥청, “토마토 수경 재배 베드 시설 개발완료”
11. 박후원, “식물공장과 LED 조명의 과학적 고찰”, 카스트친환경농업기술
12. 손종구. “식물 공장 시장 현황과 향후 주요 과제”, KISTI MARKET REPORT(3호), 2013.
13. 이공인, 최규홍, 김유호, “새로운 성장동력, 식물공장”, RDA Interrobang (10호), 2011.3.23.
14. 이용범, 최기영, “선진국의 식물공장 현황”
15. 이태수, “檢, '업체 선정과정 뒷돈' 전 서울친환경센터장 구속“, 연합뉴스, 2014.
16. 이한철, "순환식 수경재배로 환경을 살리자!", 농촌진흥청
17. 인성테크, “도심형 식물공장 [모듈형]”, 2013.
18. 임송택, 양승룡, “식물공장은 지속가능한 대안인가?”, 한국농업정책학회, 2011

19. 제민. “농식품 안전 인증제도의 현황 및 과제”, 국회예산정책처, 2011.
20. 최기영, 송호석1, 명동주2, “식물공장의 사업화 방향“, 서울시립대학교, 1세기교역상사, 2 한빛들㈜, 2012.
21. 하지은, “미래형 도시농어업 아쿠아포닉스”, 해양수산부, 허지동향보고서, 2011.
22. 특허청, “첨단 농업 ‘식물공장’, 한겨울에도 신선 채소가 쑥쑥 !”, 보도자료, 2012.
23. 한국생명공학연구원, “농식품 R&D 기술기획 시스템 구축”
24. 한덕래. “식물공장 현황 및 발전전망 심포지엄 결과”, 농업기술센터
25. 野末雅之, “신슈대학 식물공장 프로젝트 컨테이너 식물공장 개발”, 計測と制御, 2012.6.
26. Maurice M. Averner, Ph.D. “The NASA CELSS Program“, NASA CELSS and Biospherics Programs, Life Sciences Division, NASA Headquarters, Washington D.C.
27. Rakocy, James E., Masserz, Micahel P. & Losordo, Thomas M. (2006). Recirculating Aquaculture Tank Production Systems: Aquaponics—Integrating Fish and Plant Culture.
28. Plant Lab, <http://www.plantlab.nl/4.0/>