

식물공장생산시스템 연구동향

농업기계화연구소 / 윤진하

1. 서 언

작물이 생육하는데 적당한 환경을 갖추어주면 더 많은 수량과 좋은 품질의 농산물을 얻을 수 있다는 사실이 밝혀진 이래 인공적으로 재배환경을 제어해 줄 수 있는 폐쇄작물재배시스템에 관한 연구개발이 활성화되었고 마침내 환경제어와 생산공정의 자동화 및 컴퓨터 관리가 가능한 고도의 식물공장생산시스템의 출현을 가져올 수 있었다.

이들 식물공장생산시스템은 환경제어와 자동화 등 첨단기술을 이용하여 외부기상조건에 관계없이 마치 공산품을 생산하는 것 같이 농산물을 주년 생산하는 시스템으로 좋은 환경에서 단기간에 적은 노력으로 고품질의 청정농산물을 안정되게 생산할 수 있는 장점을 가지고 있으며 1957년 덴마크의 크리스텐센 농장에서 고압나트륨램프를 이용하여 싹기름 채소를 파종에서부터 수확까지 일관자동생산하는 일종의 태양광병용형 식물공장생산시스템을 효시로 유럽, 미국, 일본 등에서 많은 연구가 이루어졌으며 엽채류의 경우 완전제어형 식물공장생산시스템도 실용화 단계에 와 있다.

2. 식물공장생산시스템의 동향

식물공장생산시스템의 연구 발전동향을 식물공장의 구성요소별로 살펴보면 다음과 같다 <표 1>.

먼저 식물공장생산시스템의 유형은 유럽에서는 태양광이용형 또는 태양광병용형에 많은 비중을 두고 있으나 일본에서는 궁극적으로는 완전제어형에 더 많은 비중을 두고 있는 것으로 보이며 생산하는 작물면에서는 모두 엽채류와 묘의 대량생산분야에서 실용화되고 있으며 태양광병용형 및 완전제어형에서 과채류에 대한 실용화 연구가 활발히 진행되고 있다.

식물공장생산시스템의 최근 주된 연구동향은 식물공장생산시스템에서 생산할 수 있는 품목을 확대하는 기술 개발과 식물공장생산시스템의 초기투자비와 운영비를 절감시킬 수 있는 기술 개발에 주력하고 있다.

<표 1> 식물공장생산시스템의 기술적 과제

구 분	기 술 적 과 제
공 장 설 계	○ 고정비 및 운영비 최소화 기술(공조부하 경감 등)
재 배 장 치	○ 밀식재배, 공간의 유효 이용
조 명	○ 식물공장에 적합한 고효율 광원 개발 및 조명방법
냉 방	○ 국소냉방, 간헐냉방 등
피 복 재	○ 적외선 및 자외선 차단 피복재
수 경 재 배	○ 최적 성장제어, 전문가시스템 등
품 종 개 량	○ 식물공장 적합품종 육성
자 동 화	○ 이식, 수확, 주간 제어 등
유 통	○ 포장개선 및 선도유지, 유통경비 절감

가. 재배작목

현재 식물공장생산시스템에서 재배되고 있는 작물의 대부분은 양상추, 잎상추를 비롯한 엽채류이다. 이는 상추류가 약광에서도 잘 자라며 생육속도가 빠르고 가격도 비교적 높기 때문이나 일반적으로 엽채류는 가격탄력성이 적어 토양에서 생산되는 채소와 가격경쟁이 어려워 고부가가치 작물 도입에 관한 연구가 이루어지고 있다.

현재는 주로 엽채류와 허브류가 적용되고 있지만 부가가치가 높은 배양묘, 접목묘 등의 대량생산과 과채류, 화훼류의 적용연구가 이루어지고 있으며 특히, 폐쇄인공조명하에서 연속적으로 과채류를 생산하는 연구도 시도되고 있으며 장기적인 목표로 쌀을 대상으로 한 연구도 시도되고 있다. 한편 이들 작목을 대상으로 식물공장생산시스템에 적합한 품종개발 연구도 활발히 이루어지고 있다.

나. 광 원

현재는 대부분 고압나트륨 램프가 광원으로 이용되고 있으나 광합성과 광 형태형성에 중요한 적색(640~690nm)과 청색(420~470nm)의 밸런스가 좋지 않고 다량의 방사열로 공조부하가 크고 식물과 충분히 거리를 두어야 하는 등의 결점이 있다.

최근에는 소형경량으로 수명이 길고 열방사가 없고 펄스조사가 가능한 가시발광 다이오드(LED)와 가시반도체 레이저다이오드(LD) 광원이 식물공장생산시스템의 광원으로서 주목받고 있다.

최근에 적색LD 뿐만아니라 청색LD도 개발되어 실용화단계에 있으며 이들을 조합시켜 식물의 광합성속도, 엽록소 함량 등 작물생육을 구명하는 연구와 함께 LED, LD의 경비절감과 소형화, 고광속화 연구 등이 활발하게 이루어지고 있으며 조명방법은 모두 근접조명과 간헐조명방법들이 다 이루어지고 있다.

이밖에 미국에서 개발되었으며 광합성 유효방사 출력이 높은 마이크로파 램프를 이용하는 연구도 시도되고 있다.

다. 식물공장생산시스템의 환경제어

식물공장생산시스템에서의 온·습도, CO₂, 광, 양액농도제어 등의 환경제어자동화는 완전히 실용화되었다고 할 수 있으나 식물의 생육정보와 기상조건을 연계시킨 복합적인 환경제어면에서는 아직 한계가 있는 실정으로 이에 대한 연구가 작물 및 엔지니어링분야에서 많이 이루어지고 있다.

식물개체 및 군락의 생체중, 엽면적, 광합성속도 등의 생체정보를 비파괴적으로 정확히 측정 정량화하고 이를 근거로 생육환경을 최적상태로 제어하려는 기술개발 연구가 심도있게 수행되고 있으며 식물공장생산시스템 아래서의 환경변화에 따른 작물 성장모델 개발도 많은 관심을 끌고 있다.

3차원 영상처리, 적외선 이미지 등을 이용하여 환경스트레스에 의한 식물체의 생태반응을 파악하여 환경을 제어함으로써 에너지 절감 및 운영비를 감소시키는 연구가 이루어지고 있으며 또한 병리현상 등을 진단, 처방하는 기술 개발과 인터넷 등의 네트워크를 이용하여 식물공장을 저비용으로 원격감시하고 제어하는 분산계층적 환경제어시스템 개발 연구가 이루어지고 있다.

라. 식물공장생산시스템에서의 정밀변량처리기술

작물 및 환경조건에 알맞는 농자재를 투입하여 환경을 보전하면서 농산물을 생산하는 정밀농업에 대한 개념이 식물공장생산시스템에도 도입되고 있다.

정밀농업이 재배과정을 최적화 설계하는 종합기술이라는 측면에서 볼 때 완전제어형 식물공장에서는 대부분의 환경요인의 측정과 제어가 가능하므로 노지재배시스템에서보다 쉽게 최적화 할 수 있어 실질적인 정밀농업의 실현이 가능할 것으로 기대하고 있다.

관수는 물을 요구하는 식물에 식물개체가 요구하는 적량의 물을 적정위치에 관수하여 최소량의 관수로 관수효과를 높여야 하나 관행의 플러그모 생산시스템에서는 상부에서 관수하고 있어 잎에 물거나 증발되기도 하고 또 밑으로 손실되는 등 정밀관수가 이루어지지 않고 있다.

따라서 정밀관수를 위하여 트레이의 각 셀마다 모가 요구하는 적정량의 물 또는 양액을 각셀의 상태에 맞추어 밑에서 인젝션하여 관수하는 기술개발이 이루어지고 있다.

마. 식물공장의 설계 지원

시각, 촉각 등 사람의 감각을 컴퓨터 상에서 만들어내어 마치 그 공간에 있는 것 같은 감각을 주는 기술인 인공현실감(Virtual Reality) 기술을 이용하여 가상공간에서 의사체험에 의해 얻어진 경험과 정보로부터 공간을 검토분석하고 설계하는 기술 개발이 시도되고 있다.

식물공장생산시스템에서 작물의 생장을 안정적이고 최대한으로 확보하기 위해 시설내의 광환경이 충분히 배려되어야 하며 이를 실현하기 위하여 공간을 3차원적으로 현실과 가깝게 구축하고 의사체험에 의한 감각적 정보에 의해 공간을 분석, 검토 설계하는 기술 개발이 이루어지고 있다.

바. 그밖의 연구동향

우주시대에 대비하여 우주공간에서 인간이 필요로 하는 식량을 생산하기 위하여 미소중력, 저압, 우주방사선 등의 특이 환경이 식물체에 미치는 영향과 우주공간과 같은 환경조건하에서 작물을 장기간 재배하기 위한 기술개발이 아주 다양하게 시도되고 있다.

한편, 달기지 등 우주에서 인간의 거주환경을 적절히 제어하고 식량을 생산하는 물질을 순환, 재이용하기 위하여 생물 또는 생태계를 이용한 물질순환형 작물생산시스템인 폐쇄상태계 생명유지시스템(CELSS)에 관한 연구가 미국, 러시아, 일본 등에서 계속 이루어지고 있다.