미래형 원예작물 생산 기술

서울시립대학교
환경원예학과 교수 이용범

우리 나라 농업 기술은 1960년대 들어 현대적인 농업기술이 본격적으로 도입되었고, 1970년대 주곡인 쌀의 자급자족을 이룩한 녹색혁명, 1980년대 시설재배에 의한 원예작물의 계절성 극복, 토지이용성의 획기적인 제고, 작물재배 환경의 인위적 조절에 의한 생산성과 품질향상을 이룩한 백색혁명, 1990년대 들어서 정밀농업에 의한 작물의 획기적인 생산성 증대와 더불어 환경친화형 농업으로의 전환이 이루어져 왔다.

앞으로 21세기 농업은 작물의 생산성과 환경친화성이 높으면서 지속 가능한 농업기술이 되어야한다. 그러기 위해서 전자, 신소재, 정보통신등과 같은 주변 첨단기술이 농업에 본격적으로 이용될 것이다. 결국 실질적인 정보화, 지식산업에 적합한 기술개발 체계로 전환될 것이고, 농업은 환경과 농촌문화를 고려한 환경친화형 녹색기술만이 살아 남을 수 있는 중심기술이 될 것이다.

우리 나라 농업인구는 1970년 1400만명에서 1990년대 말에는 약 70%가 감소되어 농업인구 비율이 10%이하로 줄어들고 있으며, 청장년층의 도시유출로 인한 농업인구의 고령화 현상(60세 이상 30%)이 심화되고 있다. 식량 자급율도 90년대 들어 급속히 낮아져 28%로 낮아지고 있는 실정이다. 우리 나라 시설원예는 원예산업이 안고 잇는 노동력 부족, 고령화, 부녀화 라는 악조건에서 4계절 신선하고 안전한 농산물 생산을 위하여 1990년 초반부터 시설면적의 급격한 증가와 시설의 현대화가 이루어지면서 재배면적도 약 50,000ha 이상을 나타내고 있다. 수경재배 면적도 1990년까지 10ha미만이었지만 2001년에는 736ha로 급속히 증가되어 왔다. 이와 같은 외형적인 생장은 뚜렷하게 나타내고 있지만 기술적인 측면에서 많은 문제점을 안고 있다.

국내 시설원예 농가의 환경 및 재배생산 수준은 노동집약적 생산시스템이 대부분으로 단위 면적당 생산성과 노동생산성이 선진국에 비해서 대단히 낮은 수준이다. 국내비닐하우스와 유리온실에서 과채류의 생산성은 유럽의 10%, 40%

수준을 각각 나타내고 있고, 노동 투하량도 유럽에 비해서 1.5배높은 실정이다. 이처럼 기존 생산시스템에서 작물생산은 환경조건(지상부, 지하부) 및 영양상태의 불균형과 공간활용효율이 낮아 작물의 잠재 생산능력발현이 한계점에 도달했다고 볼 수 있다. 따라서 시설원예에서 토지생산성과 노동생산성의 비약적인 향상을 위해서는 기존생산방식을 탈피한 고도 기술집약형인 식물공장 생산 기술 개발이 시대적 요구를 충족시킬 수 있는 미래형의 새로운 기술이라고 할 수 있다. 즉, 식물공장(plant factory)은 '인공환경 조건이 주어진 특수한 시설 내에서 최적 재배환경을 유지하면서 연중 균일한 품질의 식물을 생산할 수 있는 시스템' 또는 '고도의 환경제어로 식물을 주년 생산하는 시스템'이라고 할 수 있다.

식물공장의 시작은 북유럽에서 작물을 재배하기에 부적절한 환경인 낮은 온도와 광량때문에 1957년 덴마크에 있는 크리스텐슨(Christensen)사가 태양광과 보조광을 이용한 공장에서 콩나물과 같은 싹채소인 크레스(cress)를 재배한 것이 최초이다. 그 후 본격적인 실용화 연구는 1970년대에 인건비 상승과 토양오염 등의 환경문제가 대두되기 시작했던 미국에서 제너럴 일렉트릭(General Electric)사가 반결구 상추와 토마토 재배를 위한 식물공장을 만든 이후, 제너럴 밀(General Mills)사, 제너럴 푸드(General Foods)사 등이 완전 제어형 공장을 개발했다. 1980년대 중반 이후 일본은 전자기술을 이용한 식물공장과 우주 농업 등에 관한 활발한 연구가 진행되고 있다(Park과 Kim, 1998).

국내에서는 1980년대 말부터 양액재배에 대한 관심을 가지기 시작하면서 1990년대 들어 원예시험장에서 이동형 상추재배시스템을 공장형으로 처음 만들었다. 현재는 서울시립대학교와 농진청 농업 기계화 연구소에서 소형 식물공장 시스템을 제작하여 다양한 원예작물을 대상으로 식물공장 최적 생육 환경 모델링에 관한 연구가 진행중에 있다.

앞으로의 식물공장은 양액재배의 연장선상에 있는 외부 환경 제어형을 발전시켜 종합환경 제어시스템, 생체 정보 수집 및 해석 시스템을 통해 자동화, 로봇화, 정보화 기술을 발전시켜 식물의 생체정보를 센서로 감지하여 해석, 제어하는 기술과 생명공학이 접목된 종합 시스템으로서 각 단계에서의 기술을 높여갈 것이며, 최종적으로는 묘 생산에서부터 소비자의 요구에 따라 고품질의 작물을 계획적으로 생산하는 지능화 식물공장으로 발전되어 갈 것이다.

식물공장에 관한 연구는 품종선발, 광원, 환경요인, 생육 진단 및 생장 해석 등을 중심으로 이루어져 왔다. Nonami 등(1991a)은 식물 생장을 제어할 때 지표로 배양액의 전기전도도(electrical conductivity: EC) 대신 양액과 식물체의 수분 포텐셜을 계측하여 배양액의 농도가 변할 때 식물과 수분과의 관계를 알아보았으며, Cho 등(1998)은 완전제어형 식물공장에서 인공광원에 따른 결구상추의 생육은 차이가 없었으나 생육과 경제성을 고려하면 고압나트륨등을 사용하는 것이 좋다고 하였다. 이와 같은 인공광원에 관한 실험은 Craker와 Seibert(1982), Goto와 Takakura(1988), Ikeda 등(1992), Park 등(1992), Tibbitts 등(1983) 등에 의해 연구되었으며, 인공광 재배 시스템에서의 광도, 광주기, 암기중 광 비율, 스펙트럼 분산과 같은 광 조사 조건은 폭넓게 변화될 수 있다. 또한 컴퓨터를 이용한 환경제어 장치의 개발(Okano 등, 1988; Tantau, 1993), 생장모델과 제어(Hong, 1995; Lee, 1990; Shibata 등, 1993; Takatsuji, 1993)과 폐쇄생태계에서의 생명유지시스템(Closed Ecological Life Support System: CELSS)에서의 식물생산(Tani, 1997) 등이 연구되고 있다. 또한 micropropagation을 바탕으로한 묘 생산 식물공장에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있으며(Hayashi 등, 1993; Kubota 등, 1997), Han과 Lee(1998)는 기내 생산된 국화의 조직배양묘와 양액재배를 결합시킨 microponic system을 확립하여 대량생산을 위한 식물공장내 최적환경에 관한 연구를 하였다.

최근 국내에서도 국민소득향상에 따른 채소 소비증가와 함께 연중 신선하고 안전성을 갖춘 품질이 우수한 상추류의 수요가 급증하고 있다. 그러나 제한된 재배 면적, 부적합한 재배 환경, 인건비 상승과 농업에 대한 기피 인식 등은 소비자의 채소 수요 요구를 만족시킬 수 없을 뿐 아니라 농업의 사회적 요구도를 충족하기 위해 앞으로의 식물 생산 시스템은 자동화되는 공장적 생산 방식으로의 전환이 필요하다. 이러한 인식의 변화와 함께 미국, 네덜란드, 일본 등 선진국에서는 자동화 시설과 복합환경 제어 시스템이 구비된 환경친화적인 시설에서 작물 생산을 극대화시키는 공장적 생산 방식인 식물공장의 실용화가 이루어지고 있다. 즉 식물공장과 같은 고도 환경제어형 시설재배의 실용화는 작물의 생육 장해요인을 제거함으로써 생산성을 향상시키고, 품질 향상, 상품의 균일화 및 연중계획생산을 이룩할 수 있는 것이다.

이처럼 시설원예 기술의 발전과 더불어 농업에서 첨단 재배기술이라 하면 농

업기술혁신의 총아인 식물공장이라 할 수 있다. 농업과 생물공학에서 이루어진 생물학적 지식은 식물의 대량 생산시스템인 '식물공장'에서 계획적인 생산공정을 거쳐 식품을 생산하는 차세대 농업생산 시스템으로서 사회적으로도 큰 기대를 모으고 있다. 이러한 첨단기술은 주변 학문에 미치는 파급효과도 크기 때문에 선진국을 중심으로 하여 연구가 진행되어 왔고 실용화 되어가고 있는 실정이다.