Status of Automatization in Protected Horticultural Facilities and Prospect of Plant Factory in Korea.

Jin-Ha Yun

Status of Automatization in Protected Horticultural Facilities and Prospect of Plant Factory in Korea.

Yun, Jinha
National Agricultural Mechanization Research Institute

Abstract

In the recent years, protected horticultural facilities have been modernized and glasshouses are also propagating in Korea, even most vegetables production are conducted in the traditional plastic houses covered with, for example, PVC film for just temperature keeping. It would limit the productivity and competitivity of the vegetable production industry without automatization and high quality year round production.

A plant factory, aimed to produce vegetables in the limited areas, was initiated in Christensen farm, Denmark in 1957, and widely propagated in some developed countries. As it has the automatized system which enables to keep optimized environment conditions, it will be the best faciltiy for high quality products as well as year round planned production. However, we have not even started the plant factory production.

Since the plant factory is requiring lots of resources, besides plant cultivation technologies, such as environment control, automatic engineering and robotics, our approach to the development of plant factories should be minded on practical plant factories considering our current farming practices and least capitial needs rather than blindly employing the advanced technologies from developed countries.

Thus, Korean plant factory development can be initiated with year round leaf vegetables production in NFT or DFT cultivation system instead of the moval bed system, in which aerial environment factors such as light, temperature, humidity and CO_2 concentration and root environment ones such as solution concentration, temperature, pH and water soluble oxygen shall be automatically controlled. And the seeding, seedling and transplanting operations shall be accomplished in the house entrance, and the harvesting and grading opreations shall be conducted in the house exit.

For practical plant factories, environment control technologies including artificial light source, illumination and air conditioning, automatic management for nutrient solution and automatic production line of moval bed system, transplanting and harvest should be developed along with researches on the cost reduction of factory building construction.

한국의 원예시설 자동화 현황 및 식물공장의 발전방향

윤 진 하

농업기계화연구소

1. 서 언

최근 우리나라 농업은 계속되는 농촌노동력의 감소 및 노령화·부녀화와 WTO체제 출범에 따른 농축산물 수입개방 등 대내외적으로 매우 어려운 처지에 놓여있다. 이러한 농업여건변화에 따라 우리농업을 경쟁력 있는 강한 체질의 산업으로 육성하여 국제경쟁력을 키우고 국민소득 증대에 따른 고품질 농축산물 수요증가에 적절히 대응하기 위하여 품질이 좋은 농축산물을 값싸게 생산 공급할 수 있는 자본기술집약적농업의 필요성이 점차 높아지고 있다.

쌀을 비롯한 주요 농산물의 수입개방에 직면해 있는 우리농업을 지속적으로 유지 발전시켜 나가기 위하여는 쌀 등 주곡의 국제경쟁력 강화는 물론이려니와 증가하는 고품질수요에 부응할 수 있는 자본기술집약적 시설농업의 현대화도 절실한 실정에 있다.

우리나라의 원예시설은 최근에 첨단기술도입이 가능한 유리온실 등이 보급되기 시작했지만 대부분 재래식 비닐온실에서 보온관리에 의존하고 있어 구조상 생력자동화에 어려움이 있으며 작업환경이 열악하고 많은 노동력과 에너지를 필요로하기 때문에 고품질 원예작물의 주년생산에 의한 경쟁력 제고에 한계가 있어 왔다.

따라서 현대화된 온실구조에서 외부환경의 영향을 최소화하면서 작물에 따라 최적환경조건에서 생력화 자동화 된 시스템으로 고품질의 무공해 농산물을 수요에 따라 계절에 관계없이 연중계획 생산할 수 있는 기술개발이 필요하며 이러한 기대를 충족할 수 있는 하이테크농업중 하나는 시설내에서 공업제품을 생산하는 것처럼 농산물을 생산하는 식물공장이라 할 수 있겠다.

식물공장은 1957년 덴마크의 크리텐센농장을 효시로하여 식물공장의 근간이 되는 수경재배, 환경제어 및 생산공정자동화, 바이오테크놀로지 등에서 많은 발전이 이루어졌고 여러 선진제국에서 이미 실용화단계에 들어가 있으나 우리나라에서는 아직 제대로 연구조차 이루어지지 못하고 있는 실정에 있다.

좁고 값비싼 국토와 열악한 영농조건아래서 국제적으로는 무한경쟁시대에 직면해 있는 우리농업을 정말 경쟁력을 갖춘 매력있는 산업으로 육성 발전시켜나가기 위하여는 우리 실정에 알맞는 식물공장의 개념설계 및 개발이 절실하다 하겠다.

따라서 여기서는 우리나라 시설원예의 생력자동화 현황과 외국의 선진 식물공장에 대하여 살펴보고 우리실정을 고려한 식물공장의 발전방향에 대하여 살펴보고자 한다.

2. 우리나라의 시설원예 자동화 현황

가. 시설내 환경관리

(1) 온도관리

(가) 보 온

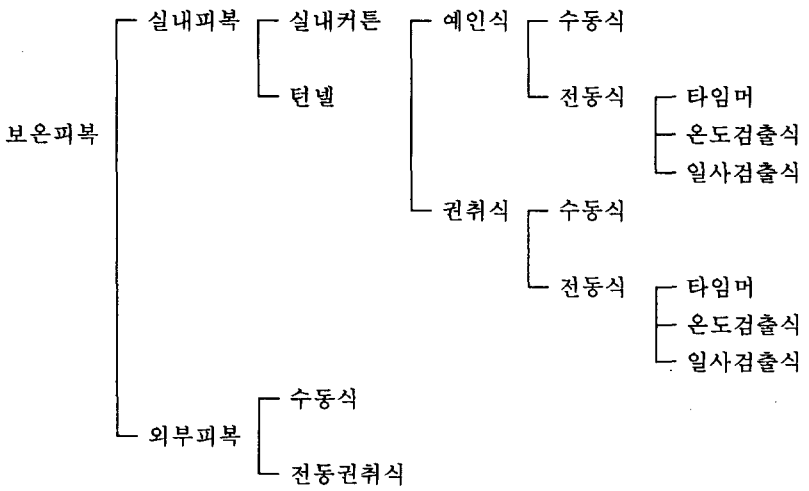
우리나라의 원예시설 4만여ha의 대부분이 플라스틱온실이고 유리온실은 0.3%인 130여ha에 지나지 않아 온실환경관리의 기계화·자동화도 매우 미흡한 실정에 있어 원예시설의 온도관리는 가온보다도 대부분(82.9%) 보온에 의존하고 있는 실정이다.

온실의 외부에 섬피, 부직포 등을 피복하거나 내부에 부직포나 트로피칼 등으로 커튼을 만들어

보온하는 방법이 사용되고 있으며 보온효과면에서는 섬피 등이 좋으나 개폐작업에 노력이 많이 들고 불편하며 비나 눈에 의한 중량 증가로 붕괴나 비닐손상 위험이 있어 근래에는 온실내부커튼이 일반화 되고 있다.

외부피복재의 개폐는 인력이 대부분이나 전동기를 사용 권취파이프를 회전시켜 피복재를 감아 올리거나 풀어서 개폐하는 반자동식도 사용되고 있다.

내부커튼은 개폐장치의 동력원에 따라 수동식과 전동식이 있으나 점차 전동식으로 바뀌고 있으며 전동식은 개폐방법에 따라 로프 등으로 커튼을 끌어당겨 한곳에 모아두는 예인식과 커튼을 파이프로 감아 당기는 권취식이 사용되고 있다. 또한 커튼의 개폐시작을 사람이 스위치를 조작하는 수동식과 개폐시각을 타임머나 온도검출 및 일사검출에 의해 조절하는 자동식이 있으나 아직은 수동식과 타이머작동방식이 많이 사용되고 있다.



(나) 난 방

보온피복이나 내부커튼만으로 작물생육에 적합한 온도유지가 어려운 경우 적극적으로 난방을 실시한다. 우리나라에서는 초기에 연탄난로가 이용되기도 하였으나 현재는 온풍난방기가 주류를 이루고 있으며 온수난방, 증기난방, 지중난방 등이 부분적으로 실시되고 있다.

주로 사용되는 온풍난방기의 형식은 덕트접속식, 버너는 건타입으로 자동점화 및 소화가 이루어지며 가열된 공기를 불어내는 송풍기는 모터직결형 축류식으로 송풍방향은 하향식이고 콘덴서 유도형 또는 농형전동기를 사용하고 있다. 온도제어는 제어성능이 낮은 ON-OFF제어방식이 채택되고 있으며 온도감지센서와 콘트롤로의 성능이 우수하고 변온관리를 필요로 하는 과채류재배에서는 4단변온장치에 의한 온도조절이 가능하다. 보급되고 있는 온풍난방기의 연료소모율은 10,000Kcal/hr당 1.2~1.7 ℓ/hr이며 열효율은 82~90%이며 소음은 77~90dB 높은 수준에 있다. 농민들이 불만을 느끼는 기계적 사항은 열효율이 낮으며 버너수명이 짧고 콘트롤박스의 고장이 많으며 소음이 크다는 등이다.

유리온실에서는 보일러, 버너, 팽창탱크, 분배기, 방열관으로 구성되는 온수난방시스템이 많이 사용된다. 이 시스템은 버너에서 연료를 연소시켜 보일러내의 물을 가열하고 이 온수를 펌프와 분배기를 통하여 방열관으로 보내어 순환시킴으로서 온실내부를 가온시키게 된다. 중유 또는 경유 보일러가 사용되고 있으며 버너는 주로 로타리 오일버너가 사용되고 있고 방열관은 탄소강관이나

탄소강관에 핀을 붙인 방열관이 많이 사용되고 있다.

한편, 최근에는 지하 30~40cm 깊이에 묻은 엑셀파이프에 40~60℃내외의 온수를 순환시켜 근권부인 지중온도를 높여주는 온수보일러에 의한 지중난방도 활발히 도입되고 있다.

이밖에 태양열을 이용한 온실난방 및 지중난방이나 히트펌프에 의한 냉난방시스템에 관한 연구도 부분적으로 시도되고 있다.

표 1. 온풍난방기 성능

규격 (kcal/hr)	연료소모량(ℓ /h)	배기가스 온도(℃)	토출공기 온도(℃)	송풍량 (㎥/min)	소비전력 (kw)	열효율 (%)	소음 (dB)
20,000~ 80,000	3.4-11.2	188-294	48-78	32-127	0.5-2.2	86-90	77-85
80,000~ 140,000	12.5-18.8	213-310	57-86	98-212	1.7-3.7	82-90	80-89
140,000~ 200,000	20.2-26.6	264-316	61-78	124-321	2.7-6.7	86-89	84-92
200,000~ 350,000	32.3-42.6	260-323	70-81	295-516	7.4-12	85-90	89-90

(다) 냉 방

고온기 온실내의 기온은 외기온보다 수도이상 높고 가끔은 40℃이상에 달하는 경우도 있게 된다. 여름철에 환기와 차광만으로 실내온도를 외기온이하로 제어하는 것은 한계가 있으므로 온실냉방을 실시하여야 한다.

아직 경제적인 이유로 냉동유니트에 의한 공조시설은 도입되고 있지 않으며 일부에서 산발적으로 실시되고 있는 방법으로 지붕살수, pad and fan, Mist and fan, 세무냉방, 워터커튼 등 물의 증발냉각을 이용하는 방법과 지하수를 이용한 히트펌프 냉각시스템 등이 있으나 실용화예는 아주 적은 편이다.

(2) 습도조절

재배되는 작물이나 기상조건에 따라 온실내의 습도를 적절히 유지관리하는 것은 매우 중요하다. 실제 온실에서는 지나친 과습으로 인한 병해발생과 품질손상을 방지하기 위하여 습도를 감소시켜야 하는데 실제 유용한 방법이 별로 없는 실정이다.

상대습도저하를 위하여 환기와 난방을 동시에 실시하는 방법이 효과적이지만 소요비용이 많으며 급격한 온도변화와 결로현상 등이 우려된다. 이에 대한 대책으로 실내의 수증기를 강제적으로 응결시켜 실외로 배출시키는 제습기가 이용될 수도 있다. 가습방법으로는 고압의 아주 가는 물방울을 살포하는 세무방법이 있으나 잘 사용되지는 않으며 습도조절은 단지 환기에 의존하는 형편이다.

(3) 환 기

온실의 온도관리와 동시에 습도조절, 탄산가스보급 수단으로 창개폐에 의한 자연환기와 강제환기가 이용되고 있다.

현재, 창개폐에 사용되는 동력개폐기는 형태에 따라 암식, 랙과피니언, 권취식, 견인식 등이 있으며 유리온실에서는 암식과 랙과피니언식이 비닐온실에서는 권취식이 많이 사용되고 있으며 감속방법에 따라 웜기어식과 유성기어식이 있고 제어방식에 따라 수동식, 리미트스위치식, 온도감응식, 타이머식이 있으며 최근에는 수동식에서 리미트스위치식이나 실내온도에 따라 창문개폐를 비례제어하는 온도감응식이 증가하고 있다.

강제환기는 보통 연동온실의 경우 창환기만으로 충분한 환기효과를 기대할 수 없을 때 설치하며 직경 70~120cm의 크기에 임펠러가 3~5개인 프로펠러형이 많이 사용되고 있다.

형태에 따른 분류

- 암 식 : 전동기 축이 회전하면 축에 고정된 암이 창을 밀거나 당겨 천측창을 개폐함. 주로 창문식 천측창에 사용
- 랙과피니언 : 전동기축이 회전하면 축에 고정된 피니언이 랙을 밀거나 당겨서 개폐. 주로 창문식 천측창에 사용
- 권취식 : 전동기축에 직결된 파이프축이 회전하면서 필름을 감거나 풀어서 천측창 또는 커튼을 개폐. 비닐온실의 천측창, 보온커튼개폐용
- 견인식 : 전동기축이 회전하면 축에 로프가 감기면서 커튼을 당겨서 개폐하는 방식. 미닫이 창문, 수평커튼 개폐에 사용

제어방식에 따른 분류

- 수동식 : 전원의 스위치를 ON-OFF수동조작으로 제어함. 개폐폭은 육안으로 판단
- 리미트스위치식 : 전동기의 정역회전은 스위치에 의해 조정되고 정지는 리미트스위치에 의해 제어함. 리미트스위치가 개폐기에 내장된 형식과 안내파이프에 설치되는 외장형이 있음. 리미트스위치형식에 따라 마그네트방식과 접촉식이 있음.
- 온도감응식 : 온도감응센서와 리미트스위치가 조합된 형식으로 설정온도에 따라 스위치가 단락되어 제어됨
- 타이머식 : 타이머를 이용 설정된 시간에 스위치를 단락하여 개폐하는 방법
- 기타 : 일사센서, 우량센서, 풍속센서에 의해 제어하는 방식 등

표 2. 동력개폐기의 주요 성능제원

구 분	용 도	감 속		개폐조절	소요동력 (KW)	전동기	취출축 회전속도
		감속방식	감속비				
모터구동 개폐형	부직포 개폐	기어식	1/3100~ 1/4390	반자동	0.2-0.5	단상220V 2-2.2KW	3.5-5rpm
권취식	천측창	기어식	1024	반자동	0.06	단상220V 0.1KW	2.9
	〃	〃	1/390~ 1/830	자동식	0.02- 0.045	12-24V 0.04-0.05KW	3-4.6

(4) 탄산가스 시용

광합성에 필수적인 탄산가스의 공급을 위하여 최근에는 탄산가스를 온실내에 직접 공급하는 방법으로 변화되고 있으나 탄산가스 시용에 대한 인식부족 등으로 이용율은 그다지 높지 않은 편이다.

현재는 등유연소식 탄산가스발생기, 프로판가스 연소식발생기 등 연소식 탄산가스발생기가 많이 이용되고 있으나 탄산가스의 균일시용이 어렵고 불완전연소에 의한 유해가스발생 등의 이유로 액화탄산가스를 폴리에칠렌튜브를 통하여 온실내에 직접 골고루 확산시켜주는 액화탄산가스 사용이 증가하고 있다.

탄산가스제어는 보통 24시간 타이머로 제어하는 방식이 많으며 CO_2 센서와 타이머로 제어하는 방법도 사용되고 있다.

(5) 환경제어시스템

현재 우리나라에 보급되고 있는 시설원예 환경제어장치는 주로 온도, 탄산가스농도, 양액의 농도와 pH 등을 대상으로하여 온도감응 또는 타이머 실정에 따른 천창, 측창 및 2중커튼의 개폐와 온풍난방기, CO_2발생기, 환기팬 등의 작동을 개별적으로 제어하는 단순한 콘트롤러로서 개별적으로 설치되거나 또는 제어판을 사용하여 한곳에 집중시켜 놓은 중앙집중식 제어장치가 대부분으로 각 환경요인의 상호관련성이 무시되어 있다. 예를들어 작물의 최적생육온도가 결정되면 이것을 설정치로 해서 시설내의 온도를 설정치에 맞도록 일정하게 조절하도록 되어 있으나 온실내의 환경요인들은 상호연관성을 가지고 있으며 서로간의 간섭에 의하여 작물에 영향을 미친다. 작물의 생장은 온도뿐만아니라 습도, 탄산가스농도, 광의 강도 등 여러 가지 요인이 복합적으로 작용되며 또 온도조절을 위하여 환기를 실시하면 온도뿐만아니라 CO_2농도, 습도 등도 따라서 변하게되므로 여러요인을 충족시킬 수 있는 정밀제어가 어렵게 된다. 이와같이 2개이상의 환경요소를 연계시켜 최적상태로 제어하는 방법을 복합환경제어라 하는데 우리나라에서는 일부 유리온실에 도입되고 있는 실정이다.

나. 시설농작업의 자동화

구 분	작 업 수 단	자 동 화 정 도	금후연구개발과제
파 종	인 력 카세트식파종기 진공흡인식 일관파종기	○ 상토충전, 진압, 관수, 파종, 복토일관자동화	○ 1립 정밀점파 ○ 범용성 ○ 코팅 등 종자전처리 ○ 발아율 제고
이 식	인 력	○ 노지재배는 반자동이식기 보급	○ 시설재배용 이식 및 보식기 개발
접 목	인 력 호접형 반자동접목기	○ 대목, 접수 절단, 삽입, 클립핑 자동화	○ 전자동접목기 개발 ○ 작업능률 및 활착율 증대
관 수	살수기, 점적관수 유공호스, 고랑관개	○ 타이머에 의한 관수시간제어 ○ 텐숀메터 수분장력에 의한 ON-OFF제어	○ 일사량, 증발량 기초 feed forward제어 ○ 토양수분센서 ○ 작물생체특성에 기초한 자동관수 ○ 관수장치의 범용화
방 제	액제 살포 ┬ 분무법(분무기,무인방제기) ├ 미스트법(미스트기) └ 정치배관법(세무살포 배관장치) 연무법 ┬ 상온연무(상온연무기) └ 젯트식연무기(포그연무기) 훈연법 ┬ 자연식훈연법 └ 가열식훈연법(가열접시, 전열식,난방기부착식) 입분제살포 - 배부식동력살분기 자주살포법 - 오토스프레이어	○ 호스권취 자동화 ○ 무인로봇방제기 도입 초기	○ 농약부착량 및 방제효과 증대(정전살포 등) ○ 로봇방제기 ○ 국부선택식 방제 ○ 생물학적 방제기술 ○ 천적이용기술
정지, 유인, 지주설치 등	인력, 칼, 가위 등 간단한 기구 유인끈, 유인테이프	여러주 유인장치 등 -	무측지성 품종육성 작업자세의 개선 간이기구 개발 및 자동화
양액관리	양액공급장치	○ EC, pH 자동제어	○ 각 성분요소의 계측제어
운 반	수동식 운반차 모노레일식운반차 밧데리카	○ 고정경로 자율주행	○ 원격 또는 무인자율주행 ○ 파트너로봇 등
수 확	인 력	-	○ 숙과인식기술 ○ 수확로봇
선 별	중량선별기 형상선별기	○ 자동공급 ○ 중량+색채선별 실용화단계	○ 비파괴품질판정기술 ○ 선별정밀도 향상
예 냉	예냉장치	○ 예냉 및 저온수송시스템	○ 예냉기술 ○ 자동제어기술
포 장	인력, 포장기	○ 자동포장시스템	○ 범용화

3. 식물공장의 종류 및 현황

식물공장이라 함은 환경을 완전히 제어하여 보다 고도의 재배를 실시 시설내에서 공업제품을 생산하는 것같이 농산물을 생산하는 시스템을 말하며 넓게는 환경관리 및 작업을 자동화할 수 있는 식물의 생산시스템을 말하고 좁게는 완전한 인공환경조건아래서 식물을 년중 생산하는 시스템을 말한다.

식물공장의 잇점은

- ○ 불모지 등 생산장소에 구애를 받지 않아 수요가 많고 수송시간을 단축할 수 있는 곳 등을 선택할 수 있으며
- ○ 노지재배에 비하여 최소한 약 1/3이하의 기간에 조기수확이 가능하여 토지생산성을 높일 수 있고
- ○ 연중 계획적이고 안정생산이 가능하며
- ○ 영양가 높고 맛좋은 고품질의 농산물 생산이 가능하고
- ○ 농약을 사용치 않은 무농약의 무공해 농산물을 생산할 수 있고
- ○ 매일파종 매일수확되므로 연중 노동투하가 평균화되고 중노동에서 해방될 수 있다는 점 등이다.

가. 식물공장의 형식 및 특성

(1) 완전제어형

광을 투과시키지 않는 단열성재료를 사용, 외부기상조건과 차단하여 외기온과 태양의 영향을 거의 받지 않고 광합성에 필요한 에너지를 인공광원으로부터 얻는 방식으로 최적생육환경조건에서 재배가 가능하므로 생장제어가 용이하며 주년계획생산이 가능하나 램프만으로 조명하므로 광량에 한계가 있어 강한 광을 필요로 하는 작물재배에 어려움이 있고 조명전력비 및 인공광원에서 발생되는 열의 제거를 위하여 냉방부하가 커지고 따라서 시설 및 유지관리비가 증가하는 단점이 있다.

(2) 태양광 병용형

유리 또는 플라스틱필름 등 빛을 투과시키는 재료를 사용하여 주로 태양광을 이용하되 흐리거나 비오는 날 등 태양광이 약할 때와 일조시간이 짧은 계절에는 인공조명을 사용하는 형태이다. 보조광원 설치비용과 광원에서 방사되는 열을 냉각하는 공조비의 상승이 따르고 완전제어형과 같은 제어의 정확성을 기하기 어려우나 비교적 간단히 충분한 광량을 확보할 수 있고 강한 햇빛을 요구하는 작물의 재배가 가능하며 계절 및 기후영향을 최소화 할 수 있으면 완전제어형에 가까운 주년재배가 가능하다.

(3) 태양광 이용형

유리 또는 플라스틱필름을 사용하며 보광을 행하지 않고 태양광에만 의지하여 재배하는 기존 원예생산시설의 연장선상에 있는 시스템이다.

태양광이 약한 흐린날, 비오는 날에는 광량제어가 곤라하며 계절에 따른 일조시간 제어가 불가능하여 작물의 생육조건에 적합한 생장제어가 곤란하여 고품질 농산물의 계획 생산에 제약을 받게 된다.

특히, 여름 고온기에는 냉방부하의 증가로 냉방시설 및 운영비가 증가할 우려가 높아진다. 반면에 건축비가 싸고 유동비도 싸서 생산코스트를 낮출 수 있으며 적외선을 반사시키고 가시광선을 잘 투과시키는 피복재가 개발되면 제어정도를 크게 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다.

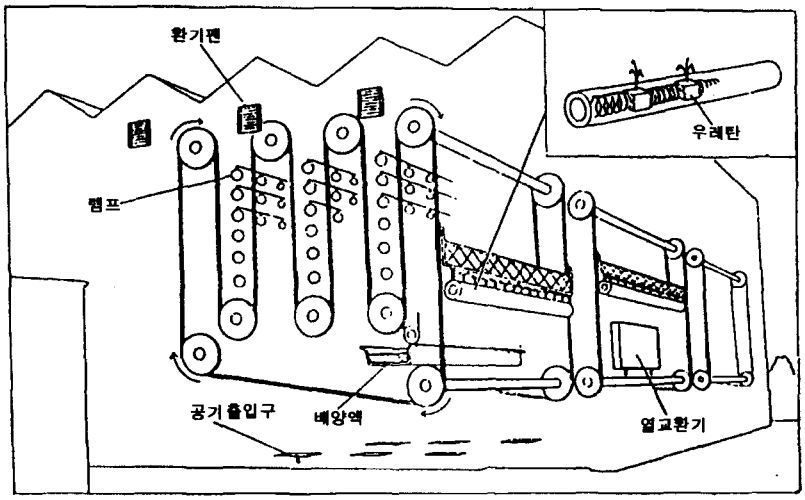


그림 1. 루스나사의 태양광병용형 식물공장

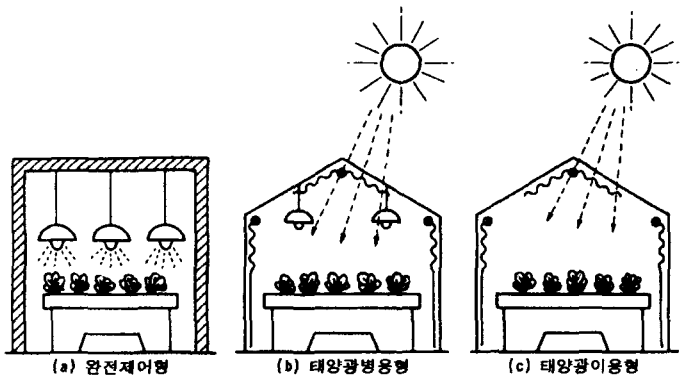


그림 2. 광원에 의한 식물공장 분류

나. 식물공장의 재배장치

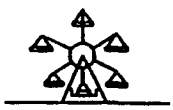
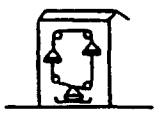
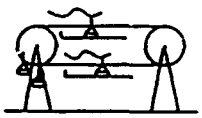
식물공장은 실내공간에 작물을 어떻게 배치하느냐에 따라 입체식과 평면식으로, 작물의 이동여부에 따라 고정식과 이동식으로 구분된다.

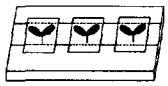
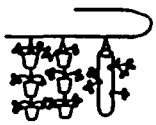
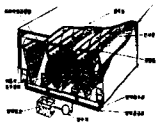
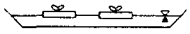
입체식의 경우는 공간을 입체적으로 이용하여 토지이용효율은 높으나 초기투자가 많이 들고 작물에 골고루 빛을 공급하기가 어려운 반면 평면식은 광원설계가 간단하고 관리가 쉬우나 공간이용율이 떨어진다.

이동식은 제어방법이 복잡하고 설치비용이 높으나 일정한 장소에서 작업을 할 수 있으므로 대폭적인 생력화가 가능하며 생육에 따라 작물 밀식도를 조절할 수 있어 공간이용을 높일 수 있는 장점이 있다.

- 재배장
  - 고정식 입체재배
    - 사면이용식
    - 파이프유하식
    - 입체배치방식
      - 다단벤치식
      - 폿트달아내림식
      - 입통식
  - 이동식
    - 평면이동식
      - 평면이동입통식
      - 순환이동재배상식
    - 입체이동식
      - 회전이동식
      - 상하순환식

표 3. 작물이동식 재배장치의 종류

	개 략 도	구 조 원 리
로타리벤치방식		○ 유원지의 관람차 같이 재배상이 항상 수평으로 회전. 면적이용율 2.6배
수직콘베이어식		○ 재배상이 상하로 이동 탑형온실이 됨. 면적이용율 3.9~13.5배. 중앙부의 조도저하 우려
횡형다단콘베이어식		○ 수평으로 설치된 체인콘베이어에 재배 바켓쯔를 부착 상하2단에서는 재배면적 확대기대 곤란

	개 략 도	구 조 원 리
수평이동방식		○ 작물이 수평면상을 이동 입구에서 출구로 일정방향 이동 콘베어 위에 재배상을 배치
현 수 순 환 식		○ 온실천정부에 붙은 콘베어에 재배상을 매달아 이동시키는 방식 작업이 편리
트라이앵글식		○ 판넬 2개를 ∧자형으로 조합하고 하단에 설치된 차륜으로 구동시키는 장치. 광이용율이 좋고 분무경을 채용
부유순환방식		○ 수면에 재배조를 띄워서 이동시키는 방식. 수류이동식과 기계이동식이 있음.
왕복이동식		○ 가장 간단한 구조로 재배상이 일정 궤도위를 필요에 따라 왕복, 대차 이용

다. 식물공장의 현황

1957년 덴마크의 크리스텐농장에서 물냉이를 일관자동생산하는 세계 최초의 식물공장이 개발된 이후 유럽, 미국, 일본 등에서 활발히 연구 개발되고 있으며 전체적으로 보아 태양광이용형의 식물공장은 실용화되어 있고 완전제어형은 건축비 및 전력비가 비싸 실용화가 제약받고 있는 실정이다.

우리나라에서는 원예연구소에서 상추의 양액재배방식 체인컨베이어에 의한 작물이동식 공장생산시스템에 관한 연구가 유일하나 이는 태양광이용형으로 이동재배만을 고려한 것으로 식물공장과는 거리가 있으며 구동은 스테인레스틸제를 이용한 체인구동방식을 사용하였음. 한편, 서울대학교의 유관회교수팀이 완전제어형 식물공장 기초연구로서 생장정보의 계측과 생육제어에 관한 연구가 수행되었으나 단지 생육환경과 배양액의 자동제어에 따른 작물생산시스템에 관한 것이었다.

표 4. 세계의 주요식물공장

식물공장명	형 식	재배작물	개발년도	비 고
크리스텐센농장 (덴마크)	태양광병용형	물냉이	1957	○ 규모 : 90m×12m(재배트레이 6열) ○ 구성 준비실, 파종실, 발아실, 뿌리고정실, 육성실, 출하실 ○ 사용광원 : 고압나트륨램프 ○ 재배장치 : 체인콘베이어에 의한 평면 이동식 ○ 자동화장치 : 파종~수확 일관자동화 (관수는 인력) ○ 환경제어 : 컴퓨터 사용 안함 ○ 재배양식 : 배지경 ○ 기 타 - 육묘트레이 등 자체 제작 - 재배트레이 그대로 종이박스에 넣어 서 출하 - 무농약, 무공해 생산 - 싹 채소류 생산에 한정됨 ○ 성공비결 - 작물선택(상식작물, 재배간단, 생장 빠름) - 재배노하우의 터득(대학연계) - 자동화
루 스 나 사 (오스트리아)	완전제어형	토마토 상추	1960초	○ 규모 : 6×10×8m(h) ○ 구성 : 파종육묘실, 육성실, 수확출하실 ○ 광원 : 고압나트륨램프(400W 19K) 램프간격 50cm ○ 재배장치 : 입체상하이동식 ○ 캐리어수 : 40본(1본에 7~8주 이식) ○ 기 타 - 온도조절 : 낮 27℃, 밤 17℃(토마토) - 일장조절 : 낮 8시간, 밤 4시간 - CO_2농도 : 육묘기 400ppm, 생육기 1,400ppm - 수확량 : 30~40ton

식물공장명	형 식	재배작물	개발년도	비 고
제네랄밀즈 (미국 시카고)	완전제어형	상 추 시금치	1980	○ 규모 : 75×60m(9,000m^2) ○ 구성 : 파종실, 발아실, 육성실, 수확 포장실, 저온창고 ○ 사용광원 : 고압나트륨램프 ○ 재배장치 : 체인콘베이어에 의한 평면 이동식(1방향 이동) ○ 생산라인 : 4줄 ○ 기 타 - 조명 : 12시간 주기 명암 - 스페이싱 : 생육에 따라 나선상골의 피치를 다르게하여 주간 조절 - 토지생산성 : 노지의 100배, 온실의 10배 - 뿌리채 출하(Kitchen Harvest)
TS farm (일 본)	완전제어형	사라다나 상치류 허 브	1986	○ 규모 : 15×26.5×3.1m(400m^2) ○ 구성 : 육묘실,생육실,제어실,작업실 등 ○ 건축구조물 : FRP ○ 사용광원 : 고압나트륨 램프 ○ 재배장치 : 트라이앵글 판넬 수평 이동식(입체형) ○ 재배양식 : 순환식 분무경 ○ 년간 생산량 : 420,000주(사라다나) ○ 자동화장치 : 온도조절, 탄산가스제어 (시퀀스제어) ○ 기 타 - 파종 : 직파(종자소독) - 수확 : 판넬채 수확, 뿌리절단, 포리자루에 넣어 출하 - 무농약 무공해 생산 - 평면식에 비하여 2배의 생산성 - 평면식에 비하여 광, 온도조절, 탄산가스조절 경비 저렴

식물공장명	형 식	재배작물	개발년도	비 고
石川島播磨 重工業 (IHI 그린랜드)	태양광병용형	상 추 사라나다	1990	○ 규모 : 12×34m(408m^2) ○ 구성 : 파종육묘실, 생육실 ○ 광원 : 110W 특수형광등(3파장) ○ 재배장치 : 조립식 다단식 수평이동형(3단) ○ 자동화설비 - 양액공급 : 담액수경, 재배상 2계통으로 분할 자동공급조절 - 온도조절 : 공냉히트펌프(덕트로 국소공조) 타이머 - 탄산가스공급 : 액화탄산가스 - 파종 : 진공식파종기 - 정식 : 인력 ○ 출하조제 : 정식판채로 수확, 뿌리절단, 포장출하 ○ 생육환경제어 - 온도 : 15~27℃, 차광커튼, 공조기 - 조명 : 형광등, 24시간타이머, - CO_2농도 : 대기~2,200ppm, 액화탄산가스, CO_2센서 - EC : 0.5~5mS/cm, 원액공급펌프 - pH : 5.5~6.5, 원액공급펌프, ph메터 - 액온 : 15~25℃, 냉각기, 온도센서
전력중앙연구소 (일 본)	태양광병용형	사라다나 시금치	1985	○ 규모 : 1,000m^2 ○ 구성 : 육묘실, 생육실 ○ 재배장치 : 경사플라스틱 튜브 수평이동식 ○ 재배양식 : NFT ○ 자동화설비 - 파종 : 파종기(자체제작) - 공조 : 빙축열공조기(심야전기이용) - 양액조절 : EC, pH, 온도 ○ 기 타 - 스페이싱 : 지주사이의 거리조절 - 튜브내배양액 공급 : 파이프 - 튜브 1m당 : 278-383g/일 수확 ○ 금후과제 - 생력화 : 수확, 조제, 파종, 스페이싱

식물공장명	형 식	재배작물	개발년도	비 고
四國電力 그룹	태양광병용형 고도수경형	딸 기 상 치 시금치	1987	○ 규모 : 211m^2 ○ 재배장치 : 고정식 ○ 재배양식 : NFT, 락울경 ○ 기타사양

	태양광병용형	고도수경형
재배면적	26m2	26m2
광 원	메탈할라이드램프 (400w×24)	고압나트륨등+형광등 (400w×4) (40w×10)
건 축 재	아크릴복층판	비 닐
환경제어	광량, 온도, 습도, CO_2농도, 양액	온도, CO_2농도, 양액
냉 난 방	히트펌프 (35,500kcal/hr)	세무, 환기에 의한 냉방 야간-히트펌프 (10,000kcal/hr)
액온조절	수냉식냉동기 (850kcal×4) 전기히타 (860kcal×4)	좌 동
탄산가스	30kg×6	
온 도	암기 15~17℃ 명기 22~26℃	18℃ 22~32℃
습 도	암기 60%이상 명기 80%이상	50%이상 80%이상
CO_2농도	1,000ppm	1,000ppm
조 도	10~40klux	5~50klux
조 명	명기 11시간 암기 13시간	12시간 12시간
EC pH 양액온도 수경방식	1.1~1.3mS/cm 5.5~6.5 18~20℃ 락 울	2.4~3.6 5.5~6.5 17~23 NFT
수량 -딸 기 -상 치 -시금치	 100g/주 140g/주 30g/주	 40g 80 20

○ 금후과제
- 공조부하경감(국소공조, 차광커튼)
- 생체계측, 품질평가에 의한 재배소프트 개발
- 고밀도 고효율화(이동식)

라. 환경제어 현황

(1) 인공광원

광은 온실내에서 여러 가지 기능을 담당하고 있다. 식물의 광합성과 실내온습도 등 환경조건을 형성하는 에너지일 뿐 아니라 식물의 색소발현 등 작물의 형태 형성에도 크게 관여하고 있는 중요한 요인이다. 특히 완전제어형의 경우 광원에서 방사되는 열을 제어하기 위해 사용되는 공조시설의 운영비가 전체 전력비의 40%이상을 차지하고 있어 적정한 광원의 선택과 배치는 매우 중요하다.

(가) 형광등

수은을 4~10mm기압의 저압으로 방전시키면 파장이 253.7mm인 자외선 방사되는데 전구의 내면에 형광체를 바르고 이 자외선에 의해 여기된 연속스팩트럼으로 방사시킨 램프로서 형광체의 종류에 따라 여러종류의 분광방사 특성을 얻을 수 있다.

가시광 전역을 카바하고 있으나 보통 적색대부터 적외부의 파워가 작으며 효율은 50~80 lm/w로 비교적 높다.

수명은 10,000시간정도이고 가격이 싸며 광분포가 우수하여 식물육성용으로 많이 사용된다. 열방사가 없어 식물엽온을 올리지 않는 장점도 있음.

(나) 메탈할라이드 램프

수은램프의 효율향상을 위하여 관내에 나트륨 등의 금속할로겐물질을 첨가한 램프로 효율도 90lm/w로 높으나 수명은 9,000시간으로 약간 떨어진다. 자연주광에 가까운 분광특성을 가진 양광램프는 growth chamber 및 식물육성용 광원으로 넓게 사용된다.

(다) 고압나트륨 램프

투광성의 알루미나 세라믹을 발광관으로 사용하고 관내에 나트륨, 수은, 케논가스를 봉입한 램프로서 효율은 출력 940w에서 157 lm/w로 대단히 높고 분광특성은 황색부가 많고 청색부는 거의 없다. 수명은 12,000시간 정도로 길고 식물생산에 가장 유망한 램프로 완전제어형에서는 장파장대가 많고 단파장대가 적어한결같이 이 램프가 사용되고 있다. 엽록소 형성과 조직경화 등 형태형상이 미흡함.

표 5. 각종램프의 비교

	출력(w)	광속(lm)	효율(lm/w)	수명(시간)	가격
형광등(백색)	110	8,960	81	10,000	저
형광등(관상용)	40	960	24	10,000	저
수은램프(형광)	1,000	60,200	60	12,000	중
메탈할라이드램프	1,000	85,000	85	9,000	고
고압나트륨램프	940	148,000	157	12,000	고

한편 식물공장에 있어서 필요한 조도를 얻기 위하여 램프를 어떻게 배치할 것인가는 매우 중요한 문제이다.

입체식재배에서는 평면식과는 달리 균일한 조도를 얻기 위하여 검토를 요하는 요소가 많아 많은 경험과 연구가 필요하게 된다. 또한 계속 조명하는 것보다 간헐조명에 의하여 광합성이 증가되고 전력절감이 기대된다고 하는데 미쓰비시에서 간헐조명에 의해 전력비의 10~20%의 감소를 가져왔고 1분간 8,000회의 간헐조명으로 광합성을 두배로 증가시킬 수 있었다고 한다.

(2) 온습도제어

온도센서는 온도상승에 따라 전기저항치가 감소되는 NTC반도체 소자를 사용하는 서미스터와 열전대, 측온저항체, 바이메탈 등이 사용되고 있으며 온도조절은 ON-OFF제어부터 PID제어까지 여러 가지가 사용되고 있으나 컴퓨터 이용이 용이한 ON-OFF제어가 많이 쓰이고 있다.

식물공장은 일반원예시설과는 달리 냉각이 큰 관건이 되는데 냉각방법으로는 미스트앤팬, 패드앤팬, 세무냉방 등 기화냉각법을 이용할 수도 있으나 충분한 냉각효과를 기대하기 어려우므로 주년안정생산을 위하여 차광과 함께 공조장치를 사용하고 있으며 보통 지하수나 공기를 열원으로 하는 히트펌프가 많이 사용된다. 가능한한 에너지 절감을 위하여 공조부하경감이나 태양열 등 자연에너지 이용이 강구되고 있다.

한편, 식물공장에서의 습도조절은 냉방에 의해 제습이 동시에 이루어지므로 가습이 주대상이 되지만 큰 용량의 가습기가 필요하게 되어 에너지 이용측면에서 그다지 실시되고 있지 않다.

(3) CO_2제어

대부분 액화탄산가스를 사용하여 CO2농도를 조절하여 조절범위는 대기상태에서 1,200ppm정도까지이다.

(4) 양액관리

식물공장에서는 대부분 수경재배를 행하고 있으며 양액의 제어는 EC와 pH를 측정하여 농도 및 산도를 자동조절하고 있고 양액재배에서 이용되는 시스템을 그대로 이용하는 경우가 많다.

한편, 양액중 용존산소공급을 위한 장치와 공조부하를 줄이기 위한 양액냉각장치 및 양액의 재이

용을 위한 살균소독시스템들이 이용되고 있다.

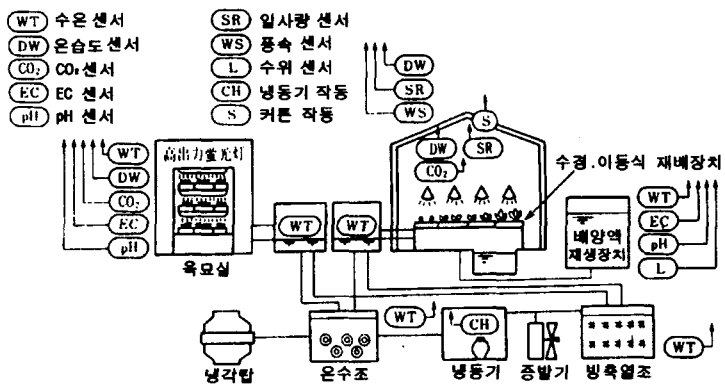


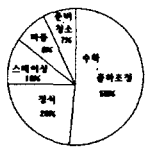
그림 3. 공조, 배양액관리시스템

마. 생산공정의 자동화

식물공장에서의 소요노력은 환경관리와 작물을 관리하는 노력으로 양분된다. 환경관리노력은 컴퓨터와 연계된 각종 환경제어기기와 개발되어 있어 거의 완성단계에 이르렀다고도 말할 수 있으나 파종, 이식, 수확, 선별 등 작물관리작업의 거의 인력에 의존하고 있어 경영규모의 제약 및 실용화의 큰 장애가 되고 있다.

생산공정중 주요작업은 파종, 이식, 스페이싱, 수확, 선별, 포장 등이며 이중 전력중앙연구소(일본)에서 우레탄 폿트에 파종하는 파종기와 이식기를 개발하여 인력에 비하여 약 5~6배의 생력효과를 보았고 미국의 Phyto farm of America 등에서 엽채류, 자동수확기, 포장기를 개발 이용하기도 하였으나 아직 인력의존도가 높다.

식물공장에서 시금치 생산시 아래의 도표에서와 같이 수확 및 출하조정에 55%의 노력이 투하되고 있어 생력화가 시급하며



이식과 정식도 상당한 노동력이 드는 것으로 나타났다. 작물이동장치로는 재배판넬이동식, 재배판 권취식, 재배상 이동식 등이 사용되고 있다.

시금치 재배노동력 투하비율
(전력중앙연구소)

4. 우리나라에 있어서 식물공장의 전망 및 개발방향

가. 식물공장의 개발방향

우리나라에서의 식물공장개발은 당장 실용화한다기 보다는 시험연구적 측면에서 검토되어져야 할 것으로 생각된다. 식물공장은 실제로 작물의 재배기술은 물론이려니와 공조 등 환경조절기술, 자동화 로봇 등 기계기술과 유통 등의 마켓 팅 기술까지 포함하는 종합적인 기술이 요구되므로

우리실정에 맞는 값싸고 실용적인 식물공장의 개념설계와 파일로트단계에서 실증 등을 거쳐 한국형 식물공장으로 발전되어져야 할 것으로 생각된다.

(1) 재배작목 및 작부체계

식물공장에서 재배되는 작물은 채소류를 그중에서도 생장속도가 빠르고 약광에도 잘자라는 시금치, 상치 등 엽채류를 대상으로 하고 싶다. 엽채류는 일반적으로 생육적온이 15~20℃로 과채류(25~30℃)보다 낮고 요구조도도 15~20klx로 과채류(30klx)보다 낮아 조명과 공조환경제어에 들어가는 비용을 절감할 수 있고 또 생산주기가 1~2개월로 과채류보다 짧은 잇점이 있다. 부가가치가 높은 과채류의 식물공장을 위하여는 작고 단기간에 수확이 가능한 품종의 육종이나 1단만 재배하는 연구도 필요하리라 본다. 작부체계에 있어서는 단작과 두가지이상의 작목을 재배하는 체계를 고려할 수 도 있으나 재배노하우의 개발축적과 시설설계의 단순화 및 환경제어 편이성 등을 고려 한가지 작목을 주년생산하는 작형이 유리할 것으로 생각된다.

(2) 식물공장의 형식

완전제어형, 태양광병용형, 태양광이용형중 주로 태양광을 이용하고 흐리거나 비오는 날 등 태양강도가 낮을 때와 일장이 짧을 때는 필요에 따라 인공광으로 보광을 하는 태양광병용형이 좋을 것으로 생각되며 램프는 현재 가장 많이 사용되고 있는 고압나트륨램프를 사용하거나 나트륨램프+형광등이 좋을 것으로 본다. 어느정도 강한 광선을 필요로 하는 작물의 재배도 가능하고 조명에 들어가는 전기비용의 절감과 공조비도 절감 가능할 뿐아니라 태양광이용형으로는 곤란한 연중계획적 안정적 작물생산이라는 식물공장의 특성도 어느정도 살릴 수 있을 것으로 생각된다.

전기비용의 절감을 위하여 여름고온기 냉방을 위하여 차광과 히트펌프 태양열이나 지열 등을 이용한 공조시스템을 도입하고 심야전력을 최대한 이용할 수 있도록 검토되어야 할 것이다. 또한 식물체 부위 등 필요한 곳만 선택하여 냉방하는 국부냉방도 필요하리라 본다.

(3) 재배형식

단위면적당 시설투자가 많이 들어가는 식물공장의 공간 및 광이용측면에서 입체이동식이 효율적으로 생각되나 시설내 환경조건의 불균일화가 우려되고 시설물에 의한 차광 특히 초기투자가 많이 드는 점을 고려할 때 현싯점에서는 대형유리온실의 연장으로 생각할 수 있는 시설투자가 상대적으로 적고 재배관리가 용이한 평면이동식이 좋을 것으로 보이며 이동방식은 재배판넬이동식, 권취식, 재배가대이동식 등이 있지만 양액이 담겨져 있는 재배조 위를 재식판이 체인콘베이어 등에 의해 수평이동하는 시스템으로 하고 작물생육에 따라 나선핏치를 변경하던가 콘베이어에 속도차를 주어 주간을 넓혀주는 스페이싱장치도 구비되어야 하며 면적이용율을 높이기 위하여 이동식 재배상을 채택할 수 있는 방안도 검토가 필요할 것이다.

(4) 재배양식

재배양식은 시설자재를 효율적으로 이용할 수 있고 설치가 간단 저렴하며 소량의 양액만이 환류되어 양액의 재순환이용을 위한 살균소독, 주년재배를 위한 양액의 냉각, 가온측면에서 유리하고 양액의 관리 및 공급과 환수 등이 편리한 NFT 또는 DFT가 좋을 것으로 생각된다.

(5) 환경제어장치

지상부환경제어 대상은 광, 온도, 습도, 탄산가스농도와 지하부의 환경은 양액온도, 농도, pH, 용존산소 등을 제어대상으로하여 컴퓨터 제어를 이용 피드백, 피드포워드, PID알고리즘을 도입한 복합환경제어시스템을 외부기상과 연계하여 제어하여야 한다. 궁극적으로는 생체반응의 정량화를 통한 최적제어시스템 도입이 전제되어야 할 것이다.

여름고온기에 실내온도를 조절하기 위한 냉방은 태양열, 지열 등을 이용한 히트펌프시스템과 심야전기를 이용한 방축열시스템의 도입 등의 생력화 방안이 검토되어야 할 것이며 자동차광막을 설치하여 광량을 자동조절 할 수 있는 시스템도 필요하리라 생각된다.

(6) 작물재배관리 기계장치

식물공장에서 이루어지는 작업중 노력이 많이드는 파종, 이식, 수확, 선별의 기계화가 우선되어야 하며 입구쪽에서 파종 이식되고 출구쪽에서 수확과 동시에 선별 포장하여 출하할 수 있는 시스템이 개발되어야 할 것이다. 이런 일련의 작업들은 각각 한곳의 장소에서 이루어지도록 육묘트레이나 생산물 등을 콘베이어시스템을 통하여 이송할 수 있도록 하고 각기 독립적으로 작동될 수 있도록하여 유리온실 등에서도 필요에 따라 선택적으로 구입 사용할 수 있도록 하여야 할 것이다. 매카트로닉스 등 주변첨단기술을 최대한 활용하여 가능한한 자동화하고 인공지능을 갖춘 로봇의 개발도 필요하리라 생각된다.

(7) 유 통

식물공장에서 생산된 농산물은 무농약, 신선, 고품질로 다른 농산물과 차별화하여 부가가치가 높은 형태로 공급할 필요성이 있으며 포장 및 디자인에도 많은 노력을 기울이고 백화점, 호텔, 도매시장 등과 계약재배를 통하여 수요안정을 기하여야 할 것이다.

나. 식물공장 실용화를 위한 과제

식물공장의 실용화를 위해서 해결해야 될 과제는 여러 가지가 있을 수 있으나 최소한 주요대상작물에 대한 재배데이터를 정량화하는 일과 생력화가 관건이라 할 수 있다. 식물공장의 각 분야별로 해결하여야 할 주요과제를 요약하면 다음과 같다.

(1) 환경제어기술

(가) 광 원

- ○ 고압나트륨램프의 개량 : 단파장역을 보강
- ○ 새로운 광원 개발
  - 식물생육에 적합한 스팩트럼을 가진 광원
  - 광의 확산 분포가 좋은 광원
  - 전방사에너지중 열선역이 적은 광원(공조부하 감소)

(나) 조 명

- ○ 조사기술의 개선 (간헐조명, 국부조명 등)
- ○ 저가로 열선을 차단할 수 있는 태양광 채광기술
- ○ 광의 균등 확산기술

(다) 공 조

- ○ 식물공장의 전기비 : 조명 55~60, 공조 30~40%
- ○ 램프의 장파방사 저감기술(전방사의 50~60%)
  - 인공광원의 격리, 램프냉각기술(물순환, 송풍 등), 효율적 배열기술(반사각 등)
- ○ 식물의 적응성 향상기술 - 퍼지제어 도입
- ○ 국부냉방, 간헐냉방기술
- ○ 태양열 등 자연에너지 이용 냉각기술

○ 고효율의 열교환 및 축열재 개발
○ 열선방사 유리 및 피복재 개발

(라) 탄산가스제어
○ 엽면부근에 집중 국부시용기술
○ 저가, 정밀 탄산가스농도 계측센서 개발

(마) 배양액 관리
○ 컴퓨터에 의한 개개성분의 농도 자동제어기술
○ 개개이온의 정확, 신속 측정이 가능한 값싼 센서의 개발
○ 효율적인 양액 재사용 및 주년이용기술(냉각, 살균소독 등)

(바) 복합환경제어
○ 시설재배 노하우의 정량화 기술
○ 생체정보계측에 의한 환경과 생장모델 개발
- 생체중, 엽면적, 광합성, 호흡량, 증산, 체내수분 등
- 화상처리 등 첨단기술도입
○ 최적제어시스템 개발
- PID제어, 인공지능, 피드포워드 제어 알고리즘 개발
- 작물별 전문가시스템 개발

2) 생산공정 기계화·자동화 기술
(가) 파 종
- 1립점파 정밀파종기(진공흡인식, 진동식 등)
- 효율적인 종자코팅기술
(나) 이 식
- 결주 인식기술(화상처리 등)
- 이식로봇 개발
(다) 수 확
- 엽채류, 과채류 자동수확 또는 로봇 개발
- 숙과 인식기술(화상처리, 적외선센서 이용 등)
(라) 선 별
- 중량선별 등 물리적 선별기술
- 화상처리 선별기술(색)
- 비파괴 내부품질 판정기술(당도 등)
(바) 재배상 이동장치
- 밀식재배장치의 개발 및 기계화
- 작동구조의 간단, 저렴화
- 조명 및 공조효율 증대
- 스페이싱 자동화

다. 건축비 절감
○ 재배실, 육묘실 면적율 증대 (50%이하 → 70%이상)
○ 단열성이 뛰어나고 값싼 건축자재의 개발

○ 시설자재표준화 및 시공기준설정

라. 유 통

○ 안정적 수요확보 - 백화점, 도매시장 계약 생산
○ 무농약, 무공해, 신선청결, 건강식품으로 차별화
○ 포장형상 및 디자인 - 식물공장 이미지 제고

5. 맺 는 말

식물공장은 고도의 시설장치를 사용하여 작물이 생육하기 위한 최적환경조건을 만들어주고 파종, 이식, 수확 등 생산공정을 자동화함으로써 마치 공산품을 생산하듯이 고품질의 농산물을 연중 계속하여 계획적이고 안정적으로 생산할 수 있는 시스템으로서 농업생산성을 획기적으로 높일 수 있는 방안으로 평가되고 있다.

유리온실의 보급율이 0.3%에 지나지 않는 우리나라 원예시설재배 및 생력화 자동화 실태와 식물공장에 대한 연구개발이 가장 활발한 일본에서도 공조 및 조명 비용부담으로 완전제어형 식물공장의 실용화가 제약을 받고 있는 실정으로 미루어 볼 때 식물공장의 실용화는 요원한 감이 없지는 않으나 가깝게는 30년전만해도 승용이앙기로 모를 내고 콤바인으로 벼를 수확하는 것을 생각지 못했던 것처럼 계속되는 농촌노동력의 부족 및 노령화·부녀화와 고품질 농산물의 수요증대, 농산물 시장 개방 등 농업여건변화, 자동화 등 주변첨단기술의 비약적 발전 등에 비추어 볼 때 더 빨리 실용화 될 수도 있을 것으로 생각된다.

식물공장은 작물의 재배기술을 포함하여 환경조절, 기계, 전기전자, 영상처리, 로봇 등 첨단기술이 필요한 종합적인 기술로서 우리 실정에 알맞는 한국형 식물공장의 개발을 위한 이들 분야의 전문가들의 연구협력이 요구되며 식물공장을 위하여 개발된 고도의 기술들은 농업 및 다른 산업에 미치는 파급효과도 상당히 클 것으로 생각된다. 식물공장의 실용화에 대비하여 식물공장에 대한 개념설계, 재배관리 노하우의 정량화, 값싸고 효율적인 조명 및 공조시스템의 개발과 작물생산 공정의 생력화, 자동화 기술 개발이 절실하며 이에 대한 관심과 연구투자확대가 필요할 것으로 생각된다.

【 참고문헌 】

1. Agricontact. 1985. Application of microprocessors within agriculture
2. Prince R.P, J.W, Bartok. 1981. Lettuce Production in a controlled environmental plant growh unit. Trans. of ASAE. 24
3. Paul. V.Nelson. 1991. Greenhouse operation and management
4. Y.Hashimoto. 1991. Mathematical and control applications in agriculture and horticulture
5. 高述正基. 1982. 植物工場の基礎知識と實際, 技術情報ヤンター
6. 野菜茶業試驗場. 1986. 我が國における養液栽培の現狀
7. 科學技術處資源調査會. 1987. 植物工場の展望と課題
8. 日本施設園藝協會. 1987. 植物工場のすべて
9. 野菜茶業試驗場. 1987. 施設型農業生産における技術革新の現狀と 今後の展開
10. 工業技術會. 1989. 最新の植物工場プラントとそのシステム開發
11. 小林實. 1990. 野菜工場. 東京電氣大學出版局
12. 日本施設園藝協會. 1991. 施設園藝における高度集約生産システムの展開方向
13. 野菜茶業試驗場. 1991. 野菜·花き生産における省力化技術の現狀と課題
14. 岩尾憲三. 1991. 植物工場における野菜の畵像計測と成長解析. 日本農業氣象學會東海支部
15. 農耕と園藝編集部. 1992. 養額栽培の新技術
16. 相原良安. 1994. 新農業施設學. 朝倉書店
17. ファイトテクノロジ研究會. 1994. 植物生産工學. 朝倉書店.