

생력화와 경쟁력 제고를 위한 시설원예의 자동화 방향

류 관 회
서울대학교 농업생명과학대학

I. 서 언

우리 나라는 최근에 이르러 국민소득 향상에 따른 채소의 소비 증가와 더불어 계절에 관계 없이 신선하고 품질 좋은 채소의 수요가 증가함으로써 가온 장치를 갖춘 시설재배 면적이 크게 증가하고 있다. 그러나, 일반적으로 시설 재배는 작업환경이 열악하고 많은 노동력과 시설 투자 및 에너지 비용이 요구되기 때문에 가능한 생력화와 비용절감을 위한 방안이 도입되지 않으면 안된다.

네델란드와 일본 등 선진국에서는 이미 고도의 환경 조절장치와 양액재배 시스템을 도입하여 생력화와 에너지 절감에 의한 생산비 감소 및 최적 생육환경에 의한 고품질 농산물의 생산이 가능하게 되었다. 더욱이 최근에는 시설원예 재배기술이 더욱 발전되어 모든 작물 생육 환경을 인공적으로 제어함은 물론, 공장적 생산 방식으로 작물을 재배하는 야채공장 또는 식물공장의 실용화가 거의 가능한 단계에 있다.

쌀을 비롯한 주요 농산물의 수입 개방 압력에 직면하고 있는 우리 나라 농업을 지속적으로 발전시켜 나가기 위해서는 주곡에 대한 국제 경쟁력 강화도 중요하지만, 저비용 고품질 농산물 생산이 가능한 시설원예 산업의 획기적 발전을 도모하지 않으면 안된다. 특히우리 나라는 시설원예 재배 역사가 짧아 아직 시설원예용 자재, 설비, 장치 등의 설계 제작 기술이 초보적인 단계에 지나지 않으나, 국내의 전자 산업과 기계 공업의 눈부신 발전을 고려할 때, 대학과 연구기관 및 산업체의 산학연 협동 연구가 효율적으로 추진되고 정부의 적극적인 육성 시책이 뒷받침 된다면 수년내에 선진국 수준에 도달할 수 있을 것이다.

따라서, 시설 원예의 생력화와 경제적 제고를 위한 방안과 당면 과제를 살펴보고 국내 실정을 고려한 기계화와 자동화 방향을 제시하는 것은 매우 뜻 있는 일이라 하겠다.

II. 시설원예의 노동력 투입 현황

우리 나라의 농가 인구는 급속한 산업화에 따라 연 평균 3.9% 정도 감소되어 1996년에는 총인구의 9.5%인 430만명으로, 2001년에는 7.6%인 357만 명으로 감소될 것으로 추정되고 있다. 또 농가 호수는 1996년 123만 호에서 2001년에는 99만 호로 감소되어 농촌 노동력 부족현상이 더욱 두드러질 전망이다(표 1 참조). 더욱이 농촌을 떠나는 인구는 주로 젊은 층의 양질의 노동력으로 농촌의 일손 부족은 더욱 심화될 전망이다.

시설에서의 농작물 재배는 경운, 육묘, 정식으로부터, 수확, 출하에 이르기 까지 작업의 종류가 다양하고 복잡하며 정지, 유인, 적엽, 방제 등은 반복적이고도 많은 노동력이 요구된다. 또한 온실 내부는 공간이 한정되어 있고 거의 밀폐되어 있어 전반적으로 작업 환경이 불량하다.

표 2는 주요 시설 채소의 재배에 투하되는 노동력을 나타낸 것으로 작물에 따라 다소 차이가 있으나, 10a

당 554~883 시간으로 노지 재배에 비하여 5~6배 배에 달하는 노동력이 투입되고 있다.

표 1. 농가 인구 및 농가 호수의 변화 추세

(단위 : 1,000)

구분 \ 연도	'89	'92	'96	2001	연평균 증가율
총인구	42,380	43,623	45,281	47,181	0.9 %
농가인구 (구성비율)	6,786 (16.0%)	6,085 (13.8%)	4,300 (9.5%)	3,570 (7.6%)	▲ 3.9 %
농가호수	1,772	1,627	1,228	993	▲ 3.7%

자료: 농업 기계화와 시설의 자동화 계획, 1991, 농림수산부

표 2. 시설 채소의 작목별 노동 투하 시간

작 목	노 동 투 하 시 간 (시간/ha)									
	100	200	300	400	500	600	700	800	900	
고 추	노 지	174.7							시설 882.9	
딸 기	196.4		873.4							
토 마 토	146.0		781.0							
오 이	144.6		714.4							
참 외	103.2		660.2							
호 박	102.2		582.1							
상 추	122.9		558.3							
수 박	108.8		554.4							

자료 : 시설원에 현대화의 필요성과 개발 (1992, 박중춘)

시설 화훼의 재배에 투하되는 노동력은 작목에 따라 차이가 심할 뿐만 아니라, 동일 작목이라도 재배 양식에 따라 큰 차이가 있다. 예를 들어 선인장 무가온 재배의 경우 10a 당 약 700시간, 카네이션 가온 재배는 약

3,400시간인데 비하여 국화 무가온 재배는 900여 시간 정도로 조사된 바 있다. 화훼류는 채소와는 달리 결가지 따기 적심, 수확 등에 특히 많은 노동력이 소요된다.

한편, 시설원에 작물의 재배 면적과 생산량은 해마다 증가되어 채소류의 경우 2,000년에는 38,000여 ha에서 906천 M/T 정도가 생산될 것으로 전망되고 있다. 화훼류의 경우에도 재배 면적이 계속 증가하는 추세로, 90년의 1,750ha에서 2,000년에는 7,500ha로 4배 이상 증가될 것으로 추정된다(표 3 참조).

표 3. 시설원에 작물의 장기수급 전망

구 분	1995년		2000년	
	재배면적(ha)	생산량(M/T)	재배면적(ha)	생산량(M/T)
전 국	34,631	822.8	38,132	906.3
과 채 류	23,693	509.2	25,819	549.9
엽 채 류	7,088	214.0	7,815	243.9
근 채 류	2,962	996.0	3,342	112.5

자료: 2000년대 채소 수급전망 및 가격 안정 방안에 관한 연구. 1989, 한국농촌경제연구원

따라서 시설작물의 수요 증가와 시설에서의 농촌 노동력의 부족, 그리고 급격한 노임 상승에 대처하여 농산물을 안정적으로 공급하기 위해서는 생력화와 기계화 및 자동화가 절실히 요구됨을 알 수 있다.

III. 시설 내부의 환경 관리

1. 보 온

아직도 우리 나라 시설원에 농가의 대부분이 가온 재배보다는 보온 재배를 이용하고 있다. 플라스틱 하우스에서는 내부에 비닐을 설치하거나 외부에 섬피 또는 기타 보온 피복재를 덮어서 보온한다. 섬피는 보온 효과는 좋으나 작업이 힘들고 노력이 많이 소요되며 비나 눈에 의한 붕괴와 비닐 손상의 위험이 있으므로 최근에는 온실 내부에 설치하는 개폐식 커텐이 추천되고 있다.

커텐의 종류에는 수평형과 지붕형이 있고, 작동 방식에 따라 도르레식과 권취식이 있으며, 개폐 방법에 따라 수동식과 자동식이 있다. 수동식은 개폐 핸들을 돌려야 하지만, 자동식은 실내에 설치한 온도 센서 또는 타이머에 의해 전기 모터를 구동시켜 개폐한다. 또한 지하수(수온 약 15°C)를 야간에 지붕 위에 연속 살수하여 수막을 만들어 줌으로써 보온 관리를 하는 물 커텐도 사용되고 있다. 영구시설의 경우에는 자동식 커텐을 설치하는 것이 온도관리 면에서나 생력적인 면에서 유리한 것으로 판단된다.

한편, 미국에서는 지붕 피복 재료로서 2중 PE를 사용하고 그 사이에 공기를 불어 넣는 방법이 많이 사용되고 있다. 이 방법은 구조를 보강하고 내부의 수분 응축을 감소시키며 단일 유리판에 비하여 연료비를 약 1/3 가량 감소시킬 수 있다.

온실을 이중 피복 또는 온실 내부에 보온 커텐을 설치하여 보온 피복을 하게 되면 온실의 난방 부하가 감소된다. 이와 같이 보온 피복재를 사용함으로써 나타나는 난방부하의 감소 비율을 보온 피복의 열절감율이라 하는데 표 4는 온실의 종류, 보온 방법 및 보온 피복재의 종류에 따른 보온 피복의 열절감율을 나타낸 것이다.

2. 난 방

외부의 보온 피복이나 내부 커텐만으로 작물 생육에 적합한 온도 관리가 어려운 경우에는 난방기를 사

용한다. 우리 나라의 경우 초기에는 연탄난로가 이용되었으나 작물생육에 부적합한 환경조건의 형성, 관리 노력의 과다 투입, 품질의 불균일로 인한 소득 감소 등과 같은 문제점을 초래한 바 있다. 최근에는 이러한 문제점을 극복하기 위한 방안의 하나로서 시설원에 농가에 농업용 온풍난방기가 활발히 보급되고 있으며 온수 난방, 증기 난방, 전열 난방등이 부분적으로 채택되고 있다.

표 5. 난방방식의 종류와 특징

난방방식 구분	온풍난방	온수난방	증기난방	전열난방
방식개요	공기를 직접 가열한다.	60~80℃의 온수를 순환시킨다. 온수를 온풍으로 변환해서 실내에 불어넣는 방식도 있다.	100~110℃의 증기를 이용하여 난방한다. 온수나 온풍으로 변환시켜 사용하는 방식도 있다.	전기온상선이나 전기온풍히터를 사용한다.
난방효과	정지시의 보온성에 결함이 있다.	사용온도가 낮아서 온화한 가열이 가능하다. 여열이 많아서 정지후에도 보온성이 높다.	정지시의 보온성이 부족하다.	정지시의 보온성이 부족하다.
제 어 성	예열시간이 짧고 시동이 빠르다.	예열시간이 길다. 온수 온도를 바꾸어 부하변동에 대응할 수 있다.	예열시간이 짧다. 자동 제어가 꽤 어렵다.	예열시간이 짧다. 제어성이 가장 좋다.
보수관리	물을 사용하지 않으므로 사용이 용이하다.	보일러 취급은 증기에 비해 용이하다. 수질이 나쁜 곳에서도 수질처리가 용이하다.	보일러의 취급자격을 필요로 하는 경우가 있다. 수질처리를 엄격히 하지 않으면 배관이 부식되기 쉽다.	취급이 가장 용이하다.
설 비 비	온수난방에 비하여 상당히 염가이다.	배관,방열관을 필요로 하므로 비교적 고가이다.	온수난방에 비해 약간 비싼 편이다.	가장 염가이다.
기 타	배관과 방열관이 없어서 작업성이 뛰어나다. 이소공기를 실내로 부터 끌어들이는 경우에는 환기가 필요하다.	한랭지에서는 동결의 염려가 있고 물빠기, 보온대책을 충분히 고려할 필요가 있다.	토양소독이 가능하다. 방열관의 적정한 배분이 어렵다. 국소적인 고온이 생기기 쉽다.	실용적인 규모의 시설에는 비경제적이다.
적용대상	온실전반	고급작물의 온실, 대규모 시설	대규모 집단 시설, 낙차가 커서 단계상의 지형에 건축된 시설	소형온실, 육묘시설, 지중가온, 보조난방

자료: 온실 설계의 기초와 실제, 1980, 三原義秋

가. 온풍 난방

온풍 난방은 온수 또는 증기 난방에서의 열의 수송수단으로서의 배관이 없이 시설내의 공기를 직접 가열하기 때문에 장치가 간단하고 시설비가 저렴하며 보수관리가 용이한 장점을 가지고 있다. 또한 다른 방식에

표 4. 보온 피복의 열절감율

보온 방법	보온 피복재	열 절 감 율	
		유리 온실	플라스틱 온실
이 층 피복	유리, 염화 비닐 필름	0.40	0.45
	폴리에틸렌 필름	0.35	0.40
일 층 커 텐	폴리에틸렌 필름	0.30	0.35
	염화 비닐 필름	0.35	0.40
	부직포		
	알루미늄 분말 혼입 필름	0.25	0.30
	알루미늄 증착 필름	0.40	0.45
	알루미늄箔 폴리에틸렌 라미네이트 필름	0.50	0.55
이 층 커 텐	폴리에틸렌 필름	0.45	0.45
	폴리에틸렌 필름 + 알루미늄 증착 필름	0.65	0.65
	폴리에틸렌 필름 % 알루미늄박	0.65	0.65
	폴리에틸렌 라미네이트 필름		

비하여 열이용 효율이 높으며, 경량이어서 이동에 편리하고 배관이 불필요하여 최근 우리 나라에서 급속히 보급되고 있다(표 6 참조). 그러나, 큰 비닐 덕트 등이 필요하며, 열 수송 매체인 공기의 열용량이 작기 때문에 온풍기 정지시 냉각이 빠르므로 보온성이 낮은 단점이 있다.

가열 공기의 송풍 방법은 덕트를 통로에 설치하여 보내는 방법과 온풍기 상부에 덕트를 배치하여 가열 공기를 덕트와 동일한 위치에서 보내는 방법 등이 있다.

표 6. 정부의 자금지원에 의한 온풍난방기의 연도별 공급대수

1988 년	1989 년	1990 년	1991 년	1992 년
250	2680	4500	6200	7717

자료 : 한국농기구공업협동조합

나. 온수 난방

온수 난방은 60~ 80℃의 온수를 사용하는 저온수 난방과 80℃ 이상의 가압 온수를 이용하는 중·고온수 난방으로 분류된다. 후자의 경우 방열관이 적게 들고 온수를 손쉽게 증기화시켜 증기소독으로도 이용하는 이점이 있으나, 보수 관리의 어려움 또는 보일러 취급 전문기술이 요구되는 등의 제약이 따른다.

온수 난방은 온수 보일러, 방열관, 펌프 등으로 구성되며 유리온실에서 주로 이용된다. 온수 난방의 장점으로는 물의 열용량이 커서 난방 정지시 보온성이 우수하며 간단한 열교환장치로서 지중 또는 플로어 가온에 필요한 40℃ 전후의 저온수를 얻을 수 있다는 것을 들 수 있다. 그러나, 시설비가 많이 들고 배관 방법에 따라 실내 작업에 방해가 될 수 있는 단점이 있어 중소규모 온실에는 거의 채택되지 못하고 있다.

다. 증기 난방

증기 난방은 수증기의 응축에 의해 발생하는 잠열을 이용한 난방 방법으로서 1 kg/cm² 이하의 저압 증기 난방과 1 kg/cm² 이상의 압력을 이용한 고압 증기 난방으로 분류된다. 소규모 시설에서는 저압 증기 난방이

경제성에서 유리하나 대규모 단지에서는 고압 증기 난방이 유리하다.

증기 난방은 대규모 단지의 집중 관리에서는 온수 난방보다 경제성이 높고, 경사지의 집단시설에서 열의 균등 분배가 용이한 장점을 지니고 있으나, 증기의 열용량이 작아 정지시 보온성이 낮다는 단점이 있다.

라. 전열 난방

전열 난방은 전열 온상선 또는 전열 온풍기에 의한 난방을 총칭하는 것으로 시설비가 저렴하며 제어성이 우수하고 보수 관리가 용이하다. 또한 소음과 유해가스와 같은 공해의 염려가 없는 장점이 있다. 그러나, 석유류에 비하여 난방 비용이 비싸기 때문에 소형 온실의 난방, 보조 열원 또는 지중가온 등에 제한적으로 이용된다.

3. 냉 방

우리 나라와 같은 온대 지방에 온실이 처음 도입되었을 때에는 여름철에 작물 생산을 중단하였으나, 최근에는 값비싼 시설을 연중 이용하려는 노력이 기울여지고 있다. 그 결과 효과적인 냉방 시스템의 개발에 대한 관심이 증가하여 몇가지 냉각 방법이 개발되었다.

가. 환 기

일반적으로 온실의 초보적 단계의 냉각 방법은 천창 또는 측창 개폐에 의한 자연 환기이며 외기온도가 낮을 때는 매우 유용한 방법이다. 대형의 플라스틱 하우스나 유리 하우스에서 기온이 매우 높을 때는 송풍기에 의한 강제 환기 방법을 이용한다.

나. 차 광

차광 커튼을 이용하여 허용하는 범위에서 우선 일사의 투광율을 감소시켜 실내의 온도를 낮춘다. 일사의 투광율을 20% 감소시킬 수 있는 차광 커튼의 경우에는 총 냉방부하의 약 25% 까지 감소시킬 수 있다고 보고되어 있다.

유리 하우스에서는 열선 흡수 유리를 사용하면 보통 유리보다 30~50%의 열선을 차단할 수 있으나, 이 경우 동시에 가시광선도 10~20% 차단되며, 설치비용이 높기 때문에 사용이 곤란하다.

다. 지붕 살수

이것은 유리 지붕 위에 물을 흘려 유리가 외기에 의해 뜨거워지는 것을 방지하고 일사의 장파부분을 흡수함으로써 실내의 공기를 냉각하는 방법이다. 얇은 수막은 가시광선을 거의 완전히 투과시키며 수막의 파장에 의해 빛을 산란시켜 그늘을 만드는 효과를 가지고 있다. 수막에 의해 주로 1200 μ m 이상의 파장부분이 흡수되며 유리 하우스의 총 냉방부하의 10~15%가 절감될 수 있다.

라. 패드 앤 팬

살수에 의한 냉각 효과에서 顯熱은 거의 기대할 수 없어서 潛熱을 이용하지 않으면 안되는데, 미국에서 처음으로 유리하우스와 축사 등에 간이 냉방법으로 이용된 것이 패드 앤 팬 방식(pad-and-fan system)이다. 이것은 물에 젖은 패드 사이를 송풍기에 의해 강제로 공기를 통과시켜 기화냉각하여 실내에 냉풍을 들여 보내는 방식이다. 패드 바깥쪽으로 부터 공기를 불어 넣는 송풍식과, 패드 반대편 벽의 송풍기에 의해 내부의 공기를 흡인시켜 패드를 통과시키는 흡인식이 있다.

송풍식은 하우스 밖에 송풍부를 설치할 필요가 있고, 흡인식은 그럴 필요가 없으나, 하우스의 기밀성이 나쁘면 누설 공기에 의해 효율이 현저히 저하된다. 패드 앤 팬 방식은 수 ℃의 냉방 효과가 있으나 냉각 공기는 무거워서 바닥에 가까운 곳으로 통과하기 때문에 베드의 높이가 제한되며 실내가 과습하게 되는 것을 피할 수 없다.

마. 미스트 냉방

패드식에서는 패드의 통기 저항이 크고 압력형의 강력한 송풍기가 다수 필요하여 전력비가 많이 든다. 그래서 패드를 없애고 대신 물을 분무하여 통풍시킨다. 이것을 미스트 앤 팬 방식(mist-and-fan system)이라 하며 평균 2℃ 정도 온도를 낮출 수 있다. 그러나, 흡입구와 배기구 사이의 온도 및 습도 구배가 생기며, 전체적으로 다습하게 된다. 특히 흡입구 주변은 물에 젖어버리는 결점이 있다.

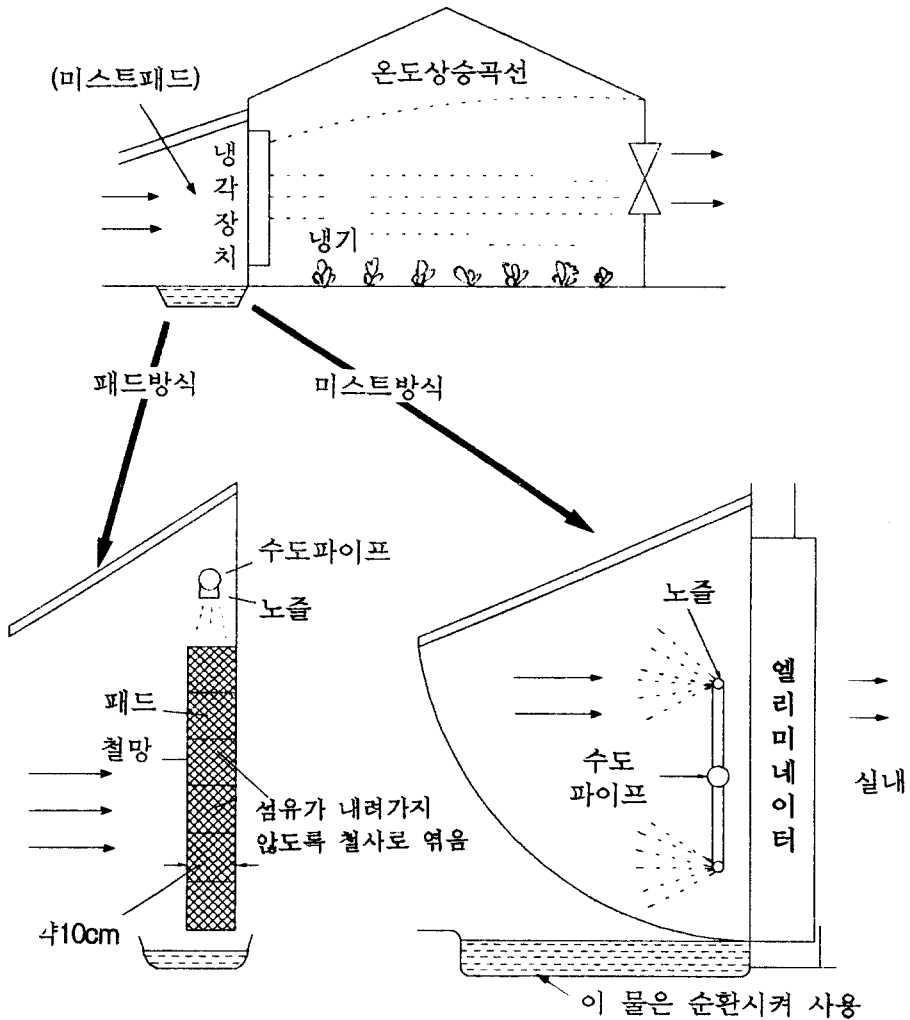


그림 1. 미스트 냉방의 적용 예.

기화 냉각 방식은 습도가 낮은 경우에는 효과가 좋으나 습도가 높은 곳에서는 불리하다. 이것을 개량한 細霧冷房法(fog-and-fan system)이 고안되었다. 이것은 흡기구로부터 유입하는 외기에 고압 미립 노즐로 물을 분사시켜 냉각시킨다. 실내를 흡입구에서 배기구로 향하는 기류에 대하여 적절히 배치한 미립 노즐에서도 분사시킴으로써 전체적으로 균일한 냉방효과를 얻을 수 있다. 이 경우 노즐이 정밀하여 직경 0.05mm 이하의 부유성의 입자가 바닥에 도달하기 전에 완전히 기화시키는 것이 중요하다. 잘 설계할 경우 이 방식은 하우스내의 온도는 -2°C , 습도는 $+20\%$ 정도로 유리한 온 습도 환경을 구현할 수 있으며, 소모되는 물의 양도 적기 때문에 매우 효과적으로 이용될 수 있다.

4. 습도관리

작물이나 기후 조건에 따라 습도 조절은 매우 중요하다. 특히 삼복에 의한 발근이나 조직 배양법으로 생산된 모를 온실에서 재배하는 경우에는 높은 습도를 유지해야 한다. 가습 방법으로는 분무 방법이 이용되는데 고압의 세무 시스템(high-pressure fog system)의 채용이 증가되고 있다.

지나친 다습환경에서 질병을 예방하고 작물의 품질을 유지하기 위해서는 습도를 감소시켜야 하는데, 실질적으로 유용한 방법을 찾기가 어렵다. 상대습도의 저하를 위해서 동시적인 환기와 가열 방법이 효과적이지만 비용이 많이 소요된다는 단점이 있으며, 이에 대한 대책으로 가열 펌프와 제습제를 사용하는 제습 시스템이 이용될 수 있다.

5. 탄산가스 공급

탄산가스는 광합성에 필수적이다. 종래의 온실에서는 환기에 의한 소극적인 방법을 채택하였으나 최근에는 작물의 성장속도와 품질을 향상시키기 위하여 탄산가스를 인위적으로 공급하는 것이 일반적인 추세이다. 특히 기온이 낮을 때 밀폐된 온실이나 야간에 인공 조명을 사용할 때 탄산가스를 공급한다.

탄산가스 공급 방법에는 고압용기에 충전된 액화 탄산가스를 분사 노즐로 공급하는 방법과 등유, LPG 등의 연료를 연소시켜 공급하는 방법이 있다. 전자는 유해가스가 없는 장점이 있으나 비용면에서 불리하다. 후자는 LPG, 등유 등을 연소시킬 때 불완전 연소에 의한 일산화탄소나 연료에 포함된 유황 성분에 의해 아황산가스 등 유해 가스가 발생할 우려가 있다. 따라서, 유해가스 발생 염려가 적은 LPG 이용 탄산가스 발생기가 주로 보급되고 있다.

IV. 시설내 작업의 기계화 및 자동화

온실 내부는 공간이 한정되어 있고 거의 밀폐되어 있기 때문에 전반적으로 작업환경이 불량하다. 사람이 작업하기에 알맞은 온도는 $18\sim 22^{\circ}\text{C}$ 인데 비하여, 온실 내부는 3~4월이 되면 30°C 이상의 고온이 흔히 발생하여 장기간에 걸친 작업이 곤란하다. 특히 밀폐된 공간에서의 농약 살포 작업은 모두가 기피하는 어려운 작업이다. 또한 정지나 유인, 딸기 수확 등과 같이 앉은 자세나 허리를 구부리고 하는 악성 근로 환경의 작업이 많으며, 보온 피복재의 개폐와 같이 수시로 반복되는 작업이 많다. 따라서 시설 내부에서 수행하는 각종 작업에 대한 기계화 및 자동화는 매우 절실한 과제라 할 수 있다.

1. 관수 작업

시설내 작물 재배에서는 강우가 차단되기 때문에 관수 방법에 따라 토양수분은 물론, 토양 온도 및 영양분의

이동과 직접 관계가 있기 때문에 수량과 품질에 큰 영향을 준다. 또한 온실내에서의 작업성에도 영향을 주므로 합리적인 관수 방법의 선택은 관수 노력의 절감과 동시에 증수 및 품질 향상의 효과를 얻을 수 있다.

현재 시설내의 관수 방법에는 분무 관수, 살수 관수, 점적 관수, 이랑 관수가 있는데, 분무 관수는 대기의 습도를 높여 주어야 하는 삼목 번식 온실이나 난 재배 온실에 주로 사용되며, 대부분의 시설 재배 농가에서는 살수 관수나 점적 관수 또는 이랑 관수 방법을 이용하고 있다.

이랑 관수 방법은 관수 비용이 적게 들고 토양 표면이 굳어지지 않으며 작물에 흠이 튀지 않는 장점이 있는 반면, 관수 직후 작업이 불가능하고 온실내 습도를 과도하게 높여 병충해를 유발하는 등의 단점이 있다. 특히 이 방법은 지온을 낮추게 되므로 겨울철 온실 재배에서는 아주 불리하다.

표 7. 플라스틱 온실의 관수방법 개선 효과

구 분	상 품 률(%)	비용 절감 효과(%)
원형노즐관수	82	29.3
점적호스관수	86	37.3
유공파이프관수	83	52.8
관행관수	83	0.0

자료: 하우스 관수 방법별 효과 시험 (엄영철, 1980)

표 7은 오이 재배의 관수 방법별 품질 향상과 비용 절감 효과를 나타낸 것으로, 살수 관수 방법인 원형 노즐 관수와 점적 호스 관수가 관행의 이랑 관수에 비하여 품질 향상과 비용 절감 효과가 큼을 알 수 있다.

따라서, 시설 내의 관수 방법은 균일한 관수가 가능하고, 각종 관리 작업에 불편을 초래하지 않으며, 관수와 동시에 액비 사용이 가능하며 자동화된 살수 관수, 또는 有孔 튜브나 파이프를 이용한 점적 관수 방법을 사용하는 것이 바람직하다.

2. 방제 작업

일반적으로 시설 내부는 고온 다습하여 병충해가 발생하기 쉬우므로 방제 작업이 필요하다. 과거에는 병충해를 방지하기 위해 적절한 화학적 약제 살포 방법이 주로 사용되어 왔으나, 최근에 이르러서는 환경 오염에 대한 관심이 높아져 생물학적 방법이나 다른 대안이 강구되고 있다. 일반적으로 병충해는 보광과 같이 생산성 향상을 증가시키기 위한 조치에 의해 증가되는 경향이 있으며, 더운 날씨가 계속되는 계절에 더 심하게 된다.

병해충의 발생을 방지하기 위해서는 먼저 감염 기회를 최소화하기 위한 위생과 관리 방법이 중요하다. 스크린의 사용과 2중문의 사용으로 곤충의 침입을 방지하는 것이 필수적이며, 환기를 줄이는 냉각 방법을 채택함으로써 외부로부터의 병해충의 유입을 감소시킬 수 있다.

또한 병에 감염되지 않는 묘를 공급할 수 있는 조직 배양 기법이나 기타 번식 방법의 개발의 중요성이 증대되고 있다. 생물공학의 발전은 여러 병해충에 저항성이 큰 품종을 개발할 수 있을 것으로 기대된다. 아울러 노지 재배 작물보다 특정 온실 작물의 육종에 더 많은 노력이 기울여져야 할 것이다.

3. 기타 관리 작업

가. 운 반

시설내에서는 자재 및 수확물의 운반에 대한 작업량이 상당히 많으며, 이러한 운반 작업의 생력화를 위한

여러가지 수단이 강구되고 있다. 중앙 통로에서의 운반은 소형 트랙터나 운반차를 이용하면 되나 작물 이랑에서 부터 중앙 통로까지는 별도의 운반수단이 필요하다. 현재 실용화된 것으로서 가장 간단한 형태인 인력 압진형의 간이 운반차와 주행 저항을 적게 하기 위하여 온수 난방용 방열관을 레일로 이용하는 것이 있다. 또한 축전지 구동 운반차와 머리 위에 있는 온수 난방용 방열관에 설치한 모노레일식 운반차도 실용화되고 있다.

나. 이식, 적엽, 수확

시설 내의 작물 재배에서 요구되는 작업에는 이식, 정지, 적엽, 수확 등 많은 노력이 요구되고 반복적으로 수행되어야 하므로 생력화가 필요하지만, 현재로서는 당장 기계화가 곤란하며 자재나 가위 등 소도구 사용으로 어느 정도의 생력 효과를 얻을 수 있다.

이들 작업을 용이하게 하고 작업자의 근로 환경을 개선하기 위한 방법으로 벤치 재배법이 개발되었다. 또한 생산성을 향상시키기 위하여 작업시에 필요한 최소한의 통로를 만들어 주는 이동식 벤치 시스템과 일관된 작업체계의 구축을 위하여 재배판(tray)을 전후 좌우로 이동시킬 수 있는 것도 있다.

다. 선별 및 출하

농작물 수확 후의 세척, 선별, 결속, 포장 등은 주로 인력에 의존하고 있으나, 상품성 향상과 부가가치 상승을 위해 기계화와 자동화가 필요한 작업이다.

엽채류의 결속은 인력 또는 동력 결속기 등을 이용하고, 토마토, 오이 등은 크기, 중량 또는 형태별로 등급을 구분하는 과채류 선별기를 이용하며, 상자 포장기를 사용한다. 또한 시장 가격 변동 추이에 따라 출하 시기를 조절할 수 있도록 적절한 저장시설도 갖추는 것이 필요하다.

V. 양액 관리

양액 재배는 토양중에 포함된 양분을 이용하지 않고, 고형 배지나 수중에 뿌리를 형성시켜 작물 생육에 필요한 영양분을 공급하는 재배 방법으로 시설 재배의 생산성 향상을 위해서는 그 도입이 필수적이다. 양액 재배에는 배지의 종류, 배양액, 산소 공급 방법 등에 따라 담액경, 박막수경(NFT), 암면경 등 여러가지 방식이 있다.

양액 재배는 어느 방식이나 작물의 뿌리가 재배 베드내에 한정되며 영양분과 수분이 배양액의 형태로 공급되는 공통점이 있다. 따라서 재배 베드내 배양액의 양분 농도, pH, 온도 및 용존산소 농도 등은 작물의 영양분과 수분의 흡수에 직접 영향을 미치며, 토양경에서와 같은 완충 작용이 거의 없기 때문에 재배 작물과 생육 단계마다 적정값(또는 범위)을 파악하고, 이 적정값을 목표로 하여 정확하고 자동적인 제어를 수행할 필요가 있다.

1. 담액형 및 NFT 재배용 양액 관리 자동화 시스템

그림 2는 재배 베드에 배양액을 담액하는 담액형 재배 시스템 및 NFT 재배 시스템을 대상으로 개발된 양액 관리 자동화 시스템을 나타낸 것이다. 또한 표 8은 담액 재배에서의 배양액 조절 방법의 예를 나타낸 것이다.

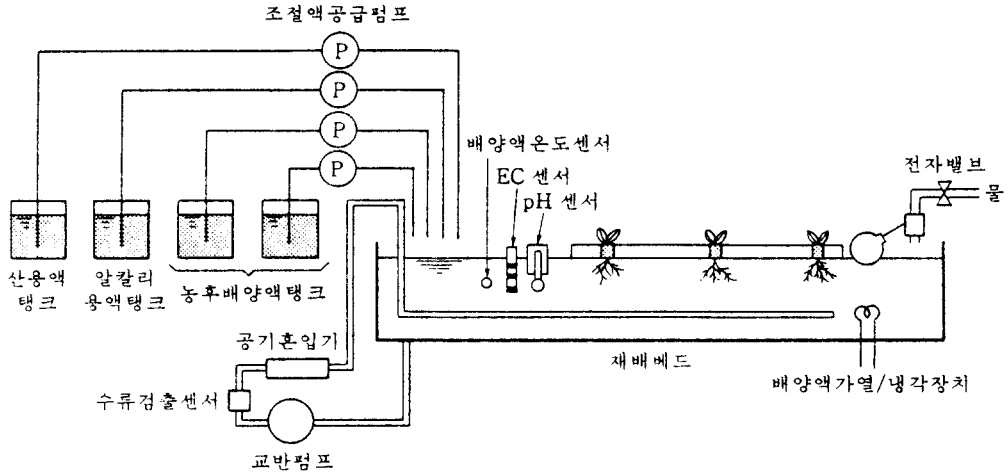


그림 2. 담액형 재배 시스템의 양액 관리

표 8. 담액형의 배양액 조절방법

조절요소	조절요소
배양액 교반	타이머에 의하여 교반펌프를 단속 운전한다. 운전은 주야별로 설정할 수 있다.
급수	교반펌프가 운전중에만 플로트밸브를 통하여 급수한다.
EC	배양액의 EC가 상한설정값을 넘으면 경보가 울린다. 교반펌프의 운전중에 배양액의 EC가 하한설정값 이하의 상태가 일정시간 이상 계속될 때에는 농후배양액의 공급펌프를 작동시킨다.
pH	교반펌프가 운전중이고 농후배양액의 공급펌프가 작동하지 않는 조건에서 배양액의 pH가 상한설정값을 일정시간 계속하여 초과될 때에는 산용액의 공급펌프를 작동시킨다. 교반펌프의 운전중에 배양액의 pH가 하한설정값을 일정시간 이상 하회할 때는 알칼리용액의 공급펌프를 작동시킨다.
배양액 온도	온도설정값을 기준으로 하여 배양액의 온도조절을 한다. 실용적으로는 가열과 냉각 중 한쪽의 조절을 필요에 따라 실시하는 수가 많다.

2. 암면경용 양액관리 자동화 시스템

그림 3은 암면 재배용 양액관리 자동화 시스템을 나타낸 것이다. 이 시스템은 EC 및 pH 조정외에 배양액의 교반, 순환시간을 주야간별로 설정할 수 있다. 한편, 표 9는 암면 재배에서의 배양액 조절 방법의 예를 나타낸 것이다.

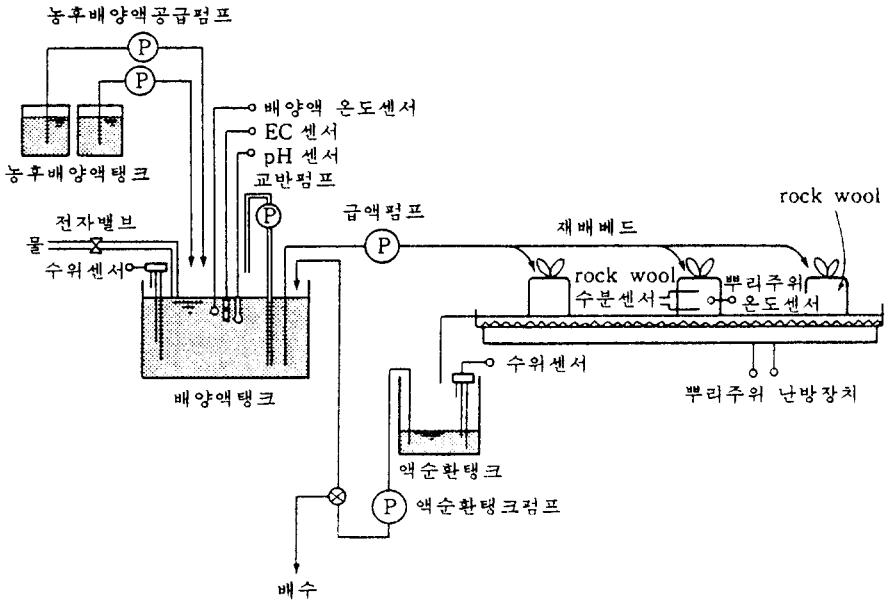


그림 3. 압면 재배 시스템의 양액 관리

표 9. 압면경의 배양액 조절방법

조절요소	조절방법
배양액 교반	주간·오후·야간 3개 시간대로 교반펌프의 동작시간과 정지시간의 설정값을 가지고, 그 설정값을 기준으로 교반펌프의 단속운전을 행한다. 일사량이 많으면 교반펌프의 정지시간을 단축시킨다. 교반펌프의 작동중에 수류검출센서가 단수를 검출하면 경보가 울린다.
EC	교반펌프가 동작개시 후 일정시간이 경과하면 EC 측정값이 설정값보다 0.2mS/cm 이상 적어지면 차이 0.1mS/cm에 대하여 1분간의 비율로 공급펌프를 작동시킨다. 측정값이 설정값보다 0.6mS/cm 이상 차이가 나면 경보가 울린다.
pH	교반펌프가 작동개시되고 EC의 조절이 종료된 후, 일정시간이 경과하고 부터 pH 측정값이 설정값보다 0.3 이상 차이가 나면 0.2로 되도록 산용액, 알칼리 용액의 공급펌프의 차이 0.1에 대하여 1분간의 비율로 작동시킨다. 측정값이 설정값으로부터 1.1 이상 차이가 나면 경보가 울린다.
배양액 온도	주야 2개의 시간대로 배양액 가열 및 냉각, 두 가지의 온도설정값을 기준으로 작동폭 2℃로 배양액의 가열 및 냉각을 실시한다. 일사량이 적을 때는 배양액 난방 설정온도를 낮춘다. 배양액 온도와 온도설정값과의 차이가 6℃ 이상이 되면 경보가 울린다.

VI. 자동화 추진 방향 및 당면 과제

1. 추진 방향

가. 시설의 형태

고품질 채소 및 화훼에 대한 수요 증대와 더불어 힘든 노동을 기피하는 젊은 세대의 의식변화 및 급격한 농업 노동력 감소 등을 고려할 때, 앞으로 생력화와 품질 향상이 가능한 고도기술집약형 원예시설의 도입을

적극 추진하여야 한다.

여기서 고도기술집약형 원예시설이란 적극적으로 생육환경을 제어하여 농작물을 연중 재배하고, 양액재배의 도입 등에 의하여 재배관리 작업을 가능한한 생력화하고 기계화 또는 자동화한 작물 생산 시스템을 말한다.

표 10. 작물 생산 시스템의 비교

구 분		노 지 재 배	플라스틱 하우스	고도기술집약형 시설
연중 생산		자연조건에 좌우되므로 불가능	약간 곤란	가능
대상 작물		모든 작물, 단 계절에 따라 다름	약간 한정됨, 단 여름철에 저온성 야채재배는 곤란	단경기의 야채, 고급야채
토지 생산성	수 량	낮음	노지재배의 1.5~2배	노지재배의 10~20배
	조수입	적음	노지재배의 5~10배	노지재배의 30~60배
농 약		필요	필요	거의 불필요
작 업		중노동도 있음, 기후에 좌우됨	작업환경이 좋지않음(고온, 다습, 농약살포 등)	경작업이 계절에 의한 차이가 적음
자동화(환경관리)		불가능	한정된 환경요소에 대해 자동화	많은 환경요소에 대해 자동화
기계화(재배관리)		한정된 작업에 대해 기계화	작업에 따라 기계화 가능	일반기계화가 가능

고도기술집약형 시설의 형식에는 표 11과 같이 태양광형, 인공광형, 병용형 등이 있으며 각각 장·단점이 있다. 대부분의 작물에서는 현재의 원예시설을 발전시킨 태양광형이 유리하지만, 육묘공장 또는 고급채소 및 화훼 등의 경우에는 병용형이 이용될 수 있으며, 조직배양에 의한 모종생산에서는 인공광형도 이용될 수 있을 것이다

표 12는 태양광형 고기술집약형 하우스와 일반 플라스틱 하우스의 기계화 및 자동화 수준을 항목별로 비교하여 나타낸 것이다.

나. 최적 제어

최소의 경비로서 수량을 최대로 하거나, 또는 최단 시간에 수확을 거두는 등의 제어 방법을 최적제어(optimal control)라 한다. 태양광형 고도기술집약형 시설에서 최적제어를 실현하기 위해서는 생장 모델 또는 경제 모델에 기초하여 컴퓨터가 판단하고, 그 결과 가장 적합한 환경제어 알고리즘으로 제어하는 것이기 때문에 그림 4에 제시한 예와 같이 고도화된 시스템 구성이 필요하게 된다.

표 11. 고도 기술 집약형 시설의 장점과 단점

형 식	장 점	단 점
太陽光型	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 많은 종류의 야채재배가 가능하다. ◦ 조명용의 전력을 절약할 수 있다. 	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 지역이나 계절에 의해 작물재배에 제한이 있다. ◦ 기후의 영향을 받기 때문에 안정적인 연중생산이 곤란하다.
人工光型	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 재배실내의 광량, 온도등의 환경을 제어하기 쉽다. ◦ 계절, 설치장소, 기후에 관계없이 안정적인 연중생산이 가능하다. 	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 조명, 공기조화 등에 소요되는 전력비가 크다. ◦ 강한 광을 필요로 하는 생육기간이 긴 작물은 재배가 곤란
併用型	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 강한광을 필요로 하는 작물이나 생육기간이 긴 작물도 재배할 수 있다. ◦ 광원에 소요되는 전력비가 인공광형에 비하여 적다. ◦ 계절이나 일기의 영향이 경감되므로 거의 모든 종류의 작물을 연중 재배할 수 있다. 	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 실온은 일사의 영향을 받아 변동하므로, 인공광형보다 제어가 어렵고, 건설비가 많이 든다.

표 12. 고도 기술집약형 하우스와 플라스틱 하우스의 비교

항 목		일반 플라스틱 하우스		기술집약형 하우스	
		장 치	제어방법	장 치	제어방법
지상부 환경관리	보온	보온커텐	수동	보온 커텐	자동
	가온	온풍기	자동	온수보일러	〃
	냉방	천창, 축창	수동	축창과 환기팬	〃
	가습	-	-	미스트 앤드 팬	〃
	제습	천창, 축창	수동	세부 노즐	〃
	탄산가스공급	-	-	자주식 노즐	〃
		천창, 축창	수동	축창과 환기팬	〃
		-	-	CO ₂ 발생기	〃
근권 환경관리	토양 수분공급	점적 관수 호스	수동	자주식 노즐	〃
	양액 공급	-	-	양액조제 공급장치	〃
	근권부 온도	-	-	지하수 이용 또는 냉동기	〃
재배 생산관리	병충해 방제	분무기 또는 연무기	수동	자주식 노즐	〃
	재배베드 이용	-	-	방충망(축창에 설치)	수동 또는 반자동
	운 반	-	-	베드 이동장치	인력 또는 동력
	선별, 포장	-	인력	운반차	동력, 자동
		-	인력	선별기, 결속기, 포장기	동력, 자동

그림 4에서는 인간이 개입하여 컴퓨터를 사용하는 최적 제어계와 완전자동화된 컴퓨터만에 의한 최적 제어계를 함께 나타내고 있다. 제 1단계에서 나타난 마이크로컴퓨터는 컴퓨터라기 보다는 디지털 콘트롤러로서 값이 매우 싸다. 여러 대의 콘트롤러는 제 2단계에서 나타난 보통의 개인용 컴퓨터(personal computer)

에 의해 관리되며, 이 수준까지는 선진국에서 실용화되고 있다. 그러나, 전자동으로 최적 제어계를 실현시키려면 충실한 데이터베이스가 전제로 된다. 이 데이터베이스는 개인이나, 농촌지도소, 농협의 수준을 넘은 대규모의 것으로, 현재까지는 시도되지 못하고 있다. 그러나, 국가 전산망에 의해 제 3단계의 데이터베이스는 전국 어디에서나 사용할 수 있게 되므로 최적제어를 위한 궁극적인 수단이 될 수 있다.

또한 데이터베이스는 지식베이스(knowledge base)까지 확장하여, 데이터로서 의미를 가진 정보는 데이터베이스에, 그리고 지식으로서 활용할 필요가 있는 정보는 지식베이스에 보존하여 종래의 정보처리에 지적 정보처리를 새로 부가할 필요가 있다. 또한 재배관계의 데이터베이스나 지식베이스는 그들이 설치된 정보센터와 생산현장이 지역망(LAN, local area network)으로 연결되어 그림 4의 제 2단계로 나타낸 개인용 컴퓨터와 통신하는 것으로 되어 농업도 고도 정보화 산업사회의 일익을 담당하게 될 것이다.

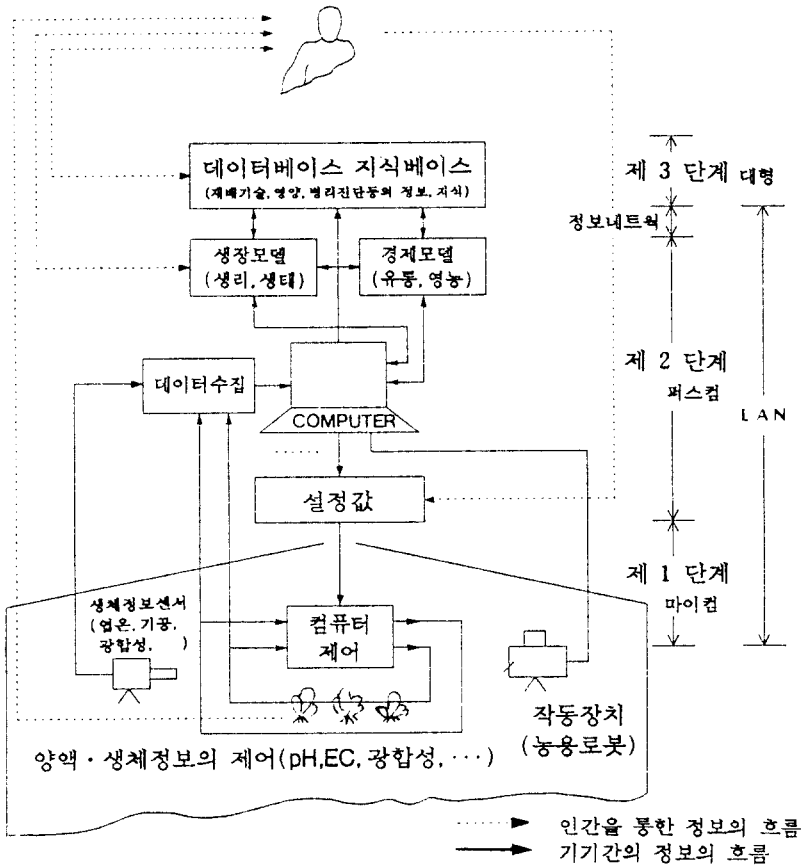


그림 4. 재배 프로세스 최적제어 시스템의 예

2. 당면 과제

가. 환경 관리 기술

현재 우리나라에서 보급되고 있는 시설 원예용 환경제어 장치는 온도 또는 타이머 설정에 따른 2 중 커튼, 천창 및 축창의 개폐 그리고 환기 팬, CO₂ 발생기 및 온풍 난방기의 가동 등 단순한 조절장치로서 그 수준이

매우 낮으며, 또한 이들 장치의 규격이 표준화되어 있지 않고, 검사기준이나 규정이 마련되어 있지 않아 고장이 많으며, 가격도 비싼 편이다. 특히 환경 조절 장치의 고장은 경우에 따라서는 작물 생육에 치명적인 피해를 줄 수 있다는 점에서 다른 어떤 제품보다도 품질과 제조업자의 서비스가 엄격히 요구된다 하겠다.

일반적인 연구에서는 환경제어 장치의 정확성이 증시되고 있으나, 작물 재배에서는 정밀한 제어 보다는 오히려 퍼지 제어 등에 의해서 식물의 생육 환경 적응성을 향상시키는 것이 건강한 생육에 도움이 되고, 비용도 감소시킬 수 있을 것이다.

또한, 겨울철 난방 비용과 여름철 냉방 비용을 감소시킬 수 있는 대체 에너지원 및 에너지 절약적인 난방 시스템의 개발과 외부 기상과 작물 생장 정보를 연계하여 실내 환경을 효율적으로 제어할 수 있는 복합 환경제어 알고리즘의 개발도 매우 중요한 과제이다.

나. 양액 관리 기술

양액 재배의 경우에는 배양액의 농도와 산도(pH), 그리고 공급량을 자동적으로, 또한 작물의 종류, 환경 그리고 생육 상태에 따라 임의로 제어할 수 있어야 한다.

현재 실용화되고 있는 것은 전기전도도(EC)에 의해 배양액의 농도를 감시하여 고농도로 되었을 때는 물을 보충하고, 저농도로 되었을 때는 농후 배양액을 보충하는 구조로 되어 있다. 그러나 이 방식은 개개의 영양분의 성분이 아닌 농도를 일괄적으로 감시하는 것이기 때문에 개별 성분의 불균형을 점검할 수 없다. 그러나, 실제 재배에서는 작물의 종류, 생육시기, 환경 조건, 양액 재배 시스템 등에 의해 작물이 흡수하는 무기 성분이 다르기 때문에 재배 중의 배양액 관리는 매우 복잡하게 된다. 따라서 개개 성분의 이온을 항상 관측할 수 있으며 신속, 정확한 저가의 센서 및 측정기를 개발하면 컴퓨터에 의해 다량원소 및 미량원소의 개별 성분대 대한 농도 제어가 가능한 관리방식이 확립될 수 있을 것이다.

암면 재배에서 넓은 면적의 온실에 균일하게 양액을 점적 공급하는 것은 기술적으로 매우 어려워져서 일반적으로 노즐간의 점적량의 편차가 20% 정도나 되므로 이를 개선할 필요가 있다. 또한 기존의 암면 재배는 양액을 흘려버리는 방식이어서 폐액에 의한 환경 오염이 문제가 된다. 오염 물질의 배출을 방지하기 위해서는 폐쇄식 박막 수경법(NFT)의 양액 관리 기술 확립이 필요하다.

다. 생육 관리 기술

현재까지 식물 생리가 충분히 구명되지 않은 작물이 많으며 종래의 노지 재배에서 실용적으로 이용되고 있는 것도 기술 집약형 온실에서는 상당히 다를 수 있으므로 이에 대한 연구가 필요하다.

예를 들면 광의 분포와 스펙트럼이나 풍속에 대한 식물 생리와 에너지 절약 관점에서 식물 생리에 대하여 연구할 과제가 많다. 채산성에서 볼 때, 품질 향상에 의한 부가가치와 에너지 비용의 조화를 이룰 수 있는 식물 생리 현상을 구명하는 것이 관건이다. 재배 노우하우가 별로 필요없는 작물 재배의 경우에는 생산 과잉이 되기 쉬워 안정적인 소득을 기대할 수 없을 것이다.

양액재배에서는 무기 성분의 불균형으로 인한 생리 장애나 근권부와 지상부 환경과의 불균형에 의한 비료 흡수능력의 저하, 배양액 산도(pH)의 이상에 의한 생육 장애 등이 민감하므로 이에 대한 원인이 구명된 해결방법이 강구되지 않으면 안된다.

시설 내에서 시설의 이용 효율을 높이기 위해 생장속도를 너무 빠르게 하면 농산물의 상품성이 저하될 수 있다. 따라서 최근에는 재배되고 있는 작물에 어느 정도 불리한 생육환경을 만들어 주어 품질을 높이는

기술이 연구되고 있다. 이 중에서 가장 안전하고 확실한 환경 스트레스 부여 수단은 탄산가스와 풍량이다. 이들 2가지 환경 요인은 약광 및 고온에 의한 徒長을 억제할 수 있으며, 환경 스트레스 요인으로서 기술 집약형 식물 생산 시스템에서는 세심한 관찰의 필요가 있다. 환기와 관련되어 실외로 배출되는 탄산가스의 양이 많아 생산비에서 차지하는 탄산가스 공급 비용의 비중이 커질 수 있다. 따라서 환기시에는 탄산 가스의 공급을 중단하고, 가능한 탄산가스를 엽면 부근에 공급하는 방법을 채택할 필요가 있다.

근권 온도는 생육환경의 매우 중요한 요인으로서 대부분의 채소에 있어서 최적 근권 온도는 16~20℃인데, 이 범위에서 고온일수록 생육은 빠르나 연약하게 성장하므로 품질을 향상시키기 위해서는 이 범위내에서는 저온으로 유지하는 것이 바람직하다. 여름철 고온기에 환경 스트레스 부여 수단으로 근권온도를 낮게 설정하는 것이 효과적인 에너지 절약 수단으로 보고되고 있으므로, 작물별, 품종별로 적정 근권 온도를 구명할 필요가 있다.

순환식 양액 재배 시스템에서는 병원균이 침입하면 만연 속도가 매우 빠르므로 초기에 발견하여 방제하지 않으면 안된다. 현재는 자외선이나 오존을 이용한 살균등이나 세균 여과장치가 있으나 배양액에도 나쁜 영향을 끼치므로 실용화되기 위해서는 아직도 많은 문제점이 남아 있다. 아울러 병충해를 조기에 발견하기 위해서는 잎의 색깔, 반점 등의 성장 정보를 신속히 계측하여 진단할 수 있는 병충해 예찰 전문가 시스템(expert system)을 개발할 필요가 있다.

라. 학제간의 공동 연구

위에서 살펴본 바와 같이 시설원예 산업의 기계화와 자동화 목표를 성공적으로 달성하기 위해서는 농업공학, 원예학, 농업생물학 등 여러 학문 분야의 전문가가 공동으로 연구하여 해결하지 않으면 안된다. 예를 들어 작물 성장 상태를 신속, 정확히 측정하고 이를 환경제어에 실질적으로 이용하기 위해서는 환경 물리학에 기초를 둔 농업공학자와 작물생리에 기초를 둔 작물 재배학자와의 공동연구가 필수적이다.

이러한 학제간의 공동 연구를 활성화하기 위해서는 한국과학재단의 ERC와 같은 연구 집단이 육성 될 수 있도록 관계 정부 기관의 적극적인 배려가 요망된다.

VII. 결 언

농산물의 수입 개방 압력, 농촌 노동력의 급격한 감소, 환경 오염 문제, 농업 기피현상 등에 대처하여 우리나라 농업을 지속적으로 발전시켜 나가기 위해서는 공업 생산과 마찬가지로 농업 생산에서도 기계화와 자동화 시스템의 도입은 중요한 과제이다. 특히 국민 소득 향상에 따른 고급 채소와 화훼에 대한 수요 증대에 비추어 볼 때 시설원예의 생력화와 경쟁력 제고를 위해서는 환경과 생육 관리를 자동화할 수 있는 고도기술집약형 시설이 조속히 도입되어야 한다.

그러나, 고도기술집약형 시설에 소요되는 자재 설비, 환경제어 및 생육 관리용 소프트웨어 등이 아직도 수입에 의존하거나 단순한 것에 지나지 않는 것이 현실이므로 우리 나라 실정에 적합한 자동화 시스템 및 재배 기술의 연구 개발에 많은 노력을 기울여야 할 것이다.

또한 시설 원예의 자동화를 조속히 실현하기 위해서는 연구 개발비의 지원 뿐만 아니라 농업공학, 원예학, 농업생물학 등 여러 학문 분야의 전문가가 참여하는 학제간의 협력연구를 강화할 수 있도록 과학 재단의 SRC, ERC 등과 같은 우수 연구 집단의 설립과 지원이 정책적으로 뒷받침되어야 할 것이다.

參考文獻

1. 高學均, 柳寬熙, 金滿秀, 金容碩. 1991. 農業用 暖房機需要推定 및 利用 擴大方案에 관한 調查研究. 서울大學校 農科大學 附屬 農業開發研究所.
2. 柳寬熙. 1986. 農業機械 自動化的 發展과 展望. '86 農業科學 심포지엄 “尖端科學技術과 農業革新” 발표 논문집. 韓國農業機械學會.
3. 柳寬熙. 1990. 農業生産 시스템의 自動化和 發展方向. 심포지엄 “農業生産 시스템의 自動化和 尖端技術” 발표 논문집. 韓國農業機械學會.
4. 柳寬熙. 1991. 植物工場의 現況과 發展. “農畜産物 生産 加工의 施設化 및 自動화” 세미나 발표문. 韓國農業機械學會.
5. 柳寬熙. 1992. 완전제어형 작물생육시스템의 개발. 學研産研究交流會 발표 논문집. 한국과학재단.
6. 류관희, 이기명. 1992. 기술집약형 원예시설을 위한 생육환경의 자동제어. 92 국내외한국과학기술자학술회의 하계 심포지엄 논문집.
7. 朴中春. 1992. 施設園藝 現代化的의 必要性和 開發. '92 국내외한국과학기술자학술회의 하계심포지엄 논문집. 한국과학기술단체총연합회.
8. 宋鉉甲 외 5인. 1993. 施設園藝 自動화 -基礎와 應用 -. 文運堂.
9. 李基明. 1991. 施設園藝用 溫室의 規格化 및 自動화 方向. “農畜産物 生産 加工의 施設化 및 自動화” 세미나 발표문. 韓國農業機械學會.
10. 李昌基. 1990. 施設農業의 環境制御 技術現況과 實用化 方案“施設農業 機械化 現況과 發展方向” 심포지엄 발표논문집. 農村振興廳 農業機械化研究所.
11. 정순주. 1993. 시설채소농업 발전 전망과 경쟁력 제고 방안 “시설 채소 농업 발전 방향 모색을 위한 세미나” 발표자료집, 농업협동조합중앙회.
12. 農耕と園藝編集部. 1986. 養液栽培の新技術. 誠文堂新光社, 日本.
13. 小林實. 1987. 野菜工場. 東京電機大學 出版局.
14. 小創祐辛. 1985. 被服栽培의 環境調節. 農林統計協會, 日本.
15. 矢吹萬壽 외 8인. 1985. 農業環境調節工學. 朝創書店, 日本.
16. システム農學會. 1990. 人工知能と裝置化農業, 農林統計協會, 日本.
17. (株)旭リサーチセンター. 1987. 人工知能と裝置化農業, 農林統計協會, 日本.
18. 日本施設園藝協會. 1992. 施設園藝における高度集約生産システムの課題と今後の 方向.
19. 日本植物工場學會. 1992. ハイテク農業ハンドブック. 東海大學 出版會.
20. (財)電力中央研究所. 野菜工場開發グループ. 1988. 電中研式 ネオフาร์ม-野菜の工場生産-. 農業電化協會.
21. Northeast Regional Agricultural Engineering Service. 1985. Energy Conservation for Commercial Greenhouses.
22. Ting, K.C. and D.R. Mears. 1991. Overview of Controlled Environment Plant Production Systems. Proceedings of International Symposium on Applied Technology for Greenhouse, October. Beijing, China.
23. Ting, K.C. 1992. Mechanization, Automation, and Computerization for Greenhouse Production. Vol 2(1). HortTechnology. U.S.A.