

1994년도 한국농업기계학회 주최
『국제화 시대 농업기계 분야의 도전과
과제』에 관한 세미나 발표문 (1994. 7. 15)

농업동력 및 시설자동화

李 基 明

경북대학교 농업기계공학과 교수

목 차

1. 서 론	19
2. 농업동력	20
3. 시설자동화	28
4. 결 론	37

I. 緒 論

UR 타결 이후 국제화 시대를 맞아, 농민과 농업관계자들이 우리농업의 경쟁력 확보를 위하여 농업기계분야에 거는 기대는 대단히 크다. 이에 우리들 농업기계 분야 연구자들이 앞으로 해야할 연구내용을 검토하여 효율적인 연구개발을 추진 함으로써 우리농업을 지키고 나아가 우리 농업을 세계의 농업으로 성장 발전 시켜나가야 할 것이다.

본고에서는 농업기계분야 중 농업동력과 시설자동화에 대한 목표를 정하고 이의 달성을 위하여 연구과제가 무엇인가를 검토하고자 한다.

먼저 농업기계분야의 연구개발의 동향을 알아보기 위하여 우리와 농업여건이 비슷한 일본농업기계학회의 최근 연구 발표 논문을 분류하여 보면 표 1과 같다. 표에서와 같이 엔진, 트랙터 등 농업동력에 관한 연구과제는 트랙터에 관한 과제가 지속적으로 많은 비중을 차지하고 있지만 UR의 영향인지 93년 28과제이던 것이 94년에 10과제로 급격한 감소를 나타냈다.

한편 로봇으로 분류한 자율주행 과제가 90년대에 들어와 급격히 증가한 것으로 미루어 각종 농업기계의 무인화가 활발히 진행되고 있는 것을 알 수 있다. 이 자율주행 과제는 트랙터, 콤바인 등 일반 포장작업기의 자율주행과 시설원예에 있어서 방제기 등 각종 재배관리 작업기의 자율주행에 의한 로봇화 연구로서 재배관리 작업의 무인화 연구가 활발히 진행되고 있음을 알 수 있다.

한편 시설자동화분야 연구는 양액재배에 관한 과제는 증가하고 있지만 환경제어, 재배관리 등의 과제는 아주 적게 나타나 있다. 이것은 환경제어에 관한 연구는 일본내에 다른 관련 학회(일본식물공장학회, 일본농업기상학회)에 주로 발표를 하기 때문이고 재배관리분야는 대부분 로봇분야에 포함되어 있기 때문이다.

한편 우리 농업기계학회의 농업동력 및 시설자동화 연구 발표 논문의 최근 1년분을 표 2에 나타냈다. 표에서 보는 바와 같이 과제수 면에서 비교할 수 없이 부족하다. 이것은 연구비와 연구 인력면에서 일본과는 비교할 수 없이 적은 우리로서는 어쩔 수 없는 것이라고 생각된다. 하지만 적은 연구비와 부족한 연구인력에도 불구하고 시설자동화, 로봇 등의 논문내용은 일본과 같은 수준에 접근해 있다고 본다. 이제부터는 적은 연구인력이지만 서로 협조 분담하여 우리들의 과제를 풀어나가기를 기대하면서 농업동력 및 시설자동화의 과제를 제시하고자 한다.

표 1 일본농업기계학회 연구 발표 논문

년 도	총 과제수	농업동력		시설자동화			로봇		
		엔진	트랙터	환경제어	재배관리	양액재배	자율주행	수확	기타
1982	208	6	6	-	-	-	1	-	-
1983	185	3	10	1	-	-	1	6	-
1984	226	5	13	2	-	1	2	8	1
1985	210	1	14	3	-	-	1	8	2
1986	217	5	11	3	-	-	-	6	2
1987	218	7	7	1	3	1	5	5	2
1988	267	10	20	-	4	-	5	4	7
1989	210	3	11	-	2	3	8	4	9
1990	214	2	18	1	-	3	10	-	8
1991	225	5	23	1	1	1	10	3	11
1992	205	3	16	1	-	2	10	3	3
1993	235	3	28	2	1	3	15	9	6
1994	257	3	10	1	2	7	19	16	3

표 2 한국농업기계학회 연구발표논문

년 도	총 과제수	농업동력		시설자동화			로봇		
		엔진	트랙터	환경제어	재배관리	양액재배	자율주행	수확	기타
93하계	7	-	2	-	1	-	1	1	-
94동계	28	2	3	3	-	-	1	2	2

II. 농업동력

1. 연구 개발의 목표

- 가. 트랙터 및 각종 전용기(이앙기, 콤바인): 자율주행(로봇화)
- 나. 환경보전 기능의 향상(탄산가스 발생 총량 규제): 전기 차량화(бат데리카, 전기트랙터, 전기콤바인)

2. 자율주행(로봇화)

가. 자율주행의 개념

자율주행의 개념을 리모콘에 의한 단순한 무인운전을 뛰어 넘는, 즉 운전자가

전연 필요 없는 자율주행하는 농업용 주행장치의 개발을 의미한다. 따라서 이러한 의미에서 자율주행의 실현에는 작업의 성격이나 기계의 발달 단계에 따라 다음 3가지 케이스가 있다.

1) 직진의 자율화

새머리의 선회를 제하고 직진 주행 부분의 자동화를 행하면 운전자는 예를들면 이앙기의 모보급 등 아직 자동화 되지 않은 작업부의 조작에 전념할 수 있어 작업보조자가 불필요하게 된다. 시판 콤바인의 자동조향기능은 이 케이스에 해당하며 운전자의 부담경감 효과가 있다.

2) 동반주행차의 자율화

목초수확 등 복수의 기계가 병진하는 작업에 있어서 동반주행차의 운전을 무인화 하면 운전자 1명을 생력화 할 수 있다. 또 이의 응용으로서 정지와 파종 등을 별도의 기계로서 동시행정화 하는 것도 생각할 수 있다.

3) 완전 자율주행

한 구획의 포장작업을 완전 무인화, 로봇화하는 것으로 이 경우는 1명의 운전자가 다수의 기계를 동시에 운전하는 것도 가능하다.

완전 자율주행의 경우 그림 1과 같이 어떤 작업에서 포장의 외주를 운전자가 운전하여 기계에 포장의 형상, 크기를 敎示하여 그 내에서 적절한 이동 경로를 구하여 그 이후는 기계가 무인작업을 행하는 것이다. 동일 포장에 있어서 두번째 이후의 작업은 첫번째의 작업기록을 참조함으로써 다시 敎示할 필요는 없다. 또 작업중에 포장이나 작물로부터 얻어진 정보를 몇년에 걸쳐서 기록하여 두면, 보다 정밀한 관리를 위한 백 데이터(back data)로 되는 등 파급효과도 기대된다.

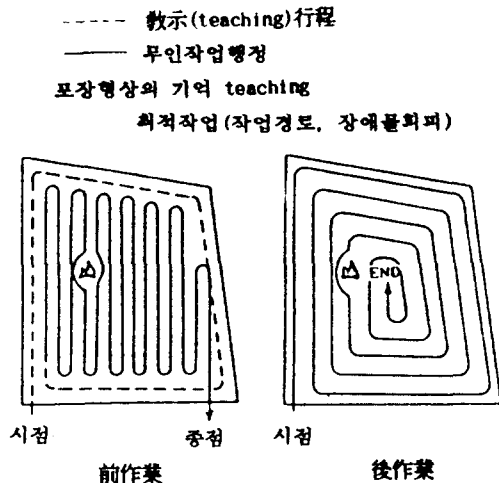


그림 1 완전 자율주행의 구상

나. 요소기술

자율주행 기계, 즉 무인작업차를 농작업 로봇이라 생각하면 범용성 높은 자율주행을 행하는 데는 작업부의 자동화와 동시에 다음과 같은 요소기술이 필요하다.

- 자율주행에 적합한 주행장치 및 조향법
- 차량의 자기위치나 차량방위의 검출기술
- 자율주행에 적합한 작업법이나 숙련된 운전자의 운전기술을 입력한 소프트웨어

- 장애물 회피기구, 고장경보기구 등 위험방지 기술

이러한 요소기술 중에서 자기위치나 차량방위의 검출기술은 자율주행에 없어서는 안될 키 테크놀로지(key technology)이다.

다. 자기위치 검출방식과 개발동향

키 테크놀로지인 자기위치 검출법에 대하여 각종 방식의 특징과 함께 주된 자율주행의 연구 개발 사례에 대하여 알아 본다.

1) 固定經路 방식

고정경로 방식은 마치 우리들이 캄캄한 밤중에 난간을 따라 걸어 가는 것과 같이 미리 설정된 코스 위를 이동할 수 있도록 궤도나 랜드마크 등을 부설하여 두는 경우를 말한다. 이 방식은 위치 결정 精度, 기술의 완성도 면에서는 우수하지만 차량의 이동 범위나 경로가 한정되어 있고, 궤도 등 시설의 설치에 경비가 소요되는 점에 문제가 있다.

이 방식에 의한 개발 사례는 비교적 오래전부터 있으며, 포장내에 매설한 케이블에 전류를 흘려 만들어지는 磁界에 의하여 과수원용 방제기를 유도하는 유도케이블 방식(그림 2), 경사지에 계단상으로 조성한 감귤원의 사면을 검출하면서 이동하는 작업차 등이 있다. 또 고정경로 방식의 결점을 보완한 것으로 이동경로에 자유도를 주어 투자를 경감하기 위하여 매설 케이블 등 대신에 레이저 빔을 사용하여 이양기의 유도경로를 설정한 試圖(그림 3)도 있다.

2) 內界情報 방식

기준점으로부터 거리와 방위가 주어지면 자기위치를 알 수 있다는 원리의 방식이다. 內界만의 정보로부터 자기위치, 방향을 알 수 있다면 포장에 특별한 시설을 설치할 필요가 없다. 가장 간단한 방법은 차륜의 회전수로부터 이동거리를 좌우 차륜의 회전차로부터 방위의 변화를 산출하는 방법이며, 농업분야에서는 연구에도 많지만 차륜의 슬립이 있으면 오차가 발생하며 특히 방위에 영향이 크다. 따라서 차륜의 슬립을 피할 수 없는 농업분야에서는 다른 방법으로 거리와 방위를 계측하지 않는 한 실용화는 어렵다.

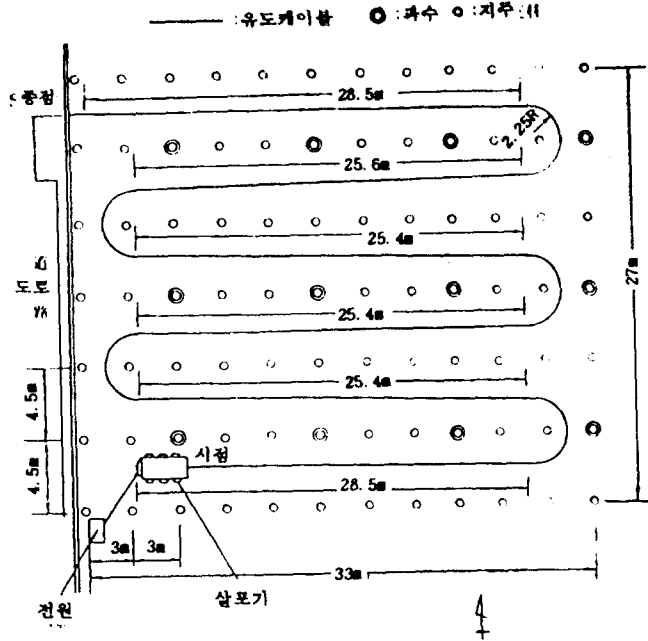


그림 2 케이블 유도 방식의 예

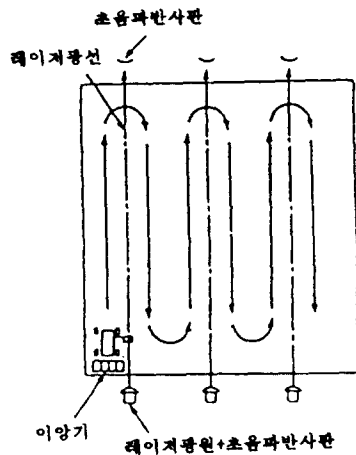


그림 3 유도 경로에 레이저 빔을 사용한 예

공업분야에서도 방위의 검출에는 별도의 방위센서를 사용하는 수가 많다. 방위 센서에는 자이로센서를 많이 사용하는 데 누적오차가 비교적 큰 것이 문제이며, 장시간 연속작업을 행하는 농업기계에는 특히 문제가 있다. 누적오차가 없는 방위센서로는 자이로컴파스나 地磁氣 방위센서가 있는데 전자는 아주 정밀한 기계이기 때문에 高價이다.

그 외 내계정보에 의한 방법으로서 항공기에 사용하고 있는 慣性航法이 있다. 이것은 3차원으로 배치한 가속도계의 출력을 2계 적분하여 3축 방향의 이동거리를 구하여 위치검출을 하는 것인데, 센서의 출력에 드리프트가 생겨 오차가 누적되는 문제가 있으며 농업용으로는 精度面으로도 가격면으로도 문제가 있다.

3) 外界情報 방식

인간에 비유하면 視覺, 聽覺, 觸覺 등의 외계의 정보를 이용하는 것이다. 정보로서는 作物列, 作業跡 등을 이용하는 것이며, 고정경로 방식과 비슷하지만 고정적인 케이블 등의 설비를 하지 않는 점이 다르다.

실용화된 것으로는 예취전의 벼 그루열을 접촉센서로 검출하는 콤바인의 자동 조향장치가 있으며, 연구 예로서는 초음파 센서에 의한 畦間無人走行 관리기의 예가 있다. 前作業跡를 추종하는 한 예로서는 플라우耕에 의한 溝를 광전소자로 검출하여 추종하는 트랙터의 개발예가 있으며, 그림 4와 같이 텅그스텐 램프를 광원으로 하여 포장면으로부터 반사광의 폭(H1, L1)의 비가 일정하게 되도록 차량의 조향을 행하는 것이다. 화상처리(시각)를 사용한 개발예로서는 既예취구와 未예취구와의 경계를 TV 카메라로 촬영하여 화상처리에 의하여 추종하는 잔디깎기 로봇이 있다. 이상의 방법은 다음 행정예의 回行을 포함하여 포장전체를 커버하는 작업의 자동화로 진전시키는 데는 다른 방법으로 자기위치를 검출하는 것이 바람직하다.

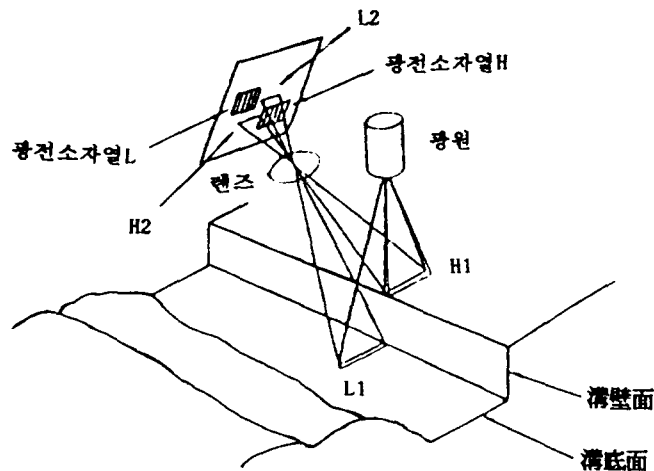


그림 4 광소자에 의한 플라우 耕跡의 검출

또한 외계정보로서 화상처리를 사용하는 방법은 장래 유망한 방법이라고 생각되지만 아직까지 식별능력, 식별시간 등이 인간에게는 미치지 못하며, 연구 예도 刈取跡의 판별 등 한정적인 것에 머물러 있고 인간의 눈 대신이라고 하는 단계에는 다다르지 못하였다.

4) 外部標識 방식

해상에 등대나 특정의 별 등을 표준으로 배의 위치를 구하도록 光(레이저광 등), 전파, 음파(초음파 등)를 매체로 하여 차량과 표지와의 거리나 각도를 계측하여 삼각측량의 원리를 응용하여 차량의 위치를 검출하는 것이다. 신호원의 위치로서 분류하면 등대와 같이 포장의 고정점으로부터 신호를 보내는 경우, 차량으로부터 보내는 경우, 고정국과 차량과의 사이에 신호의 교신을 행하는 경우가 있다. 이 방식에서는 광은 안개, 음파는 바람, 전파는 반사 등이 영향하여 신호의 교신에 지장을 주는 경우가 있지만 작업의 종류나 포장의 조건에 상관 없이 범용적으로 위치검출이 가능한 방식으로서 농업분야에서도 많은 연구 개발이 진행되고 있다.

연구 예로서 음파를 매체로 하는 것이 있는데 엔진 소음을 그대로 음원으로서 이용하는 데는 다른 차량의 노이즈나 음파의 도달성 면에 문제가 있다고 한다. 이 외 레이저빔을 사용한 와이드프레임 차량의 유도 예, 마이크로파에 의한 라지콘을 사용한 自走 플라우 로봇 등의 연구 예가 있다.

라. 農業機械에 있어서 자율주행의 特異性

농업기계의 자율주행은 공업 등 타 분야에 있어서의 자율주행과는 다른 고유한 조건에 구속되어 있다. 이 때문에 타 분야의 성과를 단순히 기술이전하는 것만으로 농업기계의 자율주행이 완성된다고는 생각하기 어렵고 개발에 이 조건을 충분히 고려해야 한다. 다음에 표 3에 그 특이성을 나타냈다.

표 3 각 분야에 있어서 자율주행, 자율 항법장치의 사용조건

	항공기	선박	자동차	공장내운반차	건설차량	농용차량
사용범위	~10,000km	~10,000km	~1,000km	~0.5km	~0.5km	~0.5km
주행거리	"	"	"	~1.0km	~5.0km	~10km
주행방법	종점까지 거의 직선	종점까지 거의 직선	도로를 따라	주행로를 따라	구역내 전면	구역내 전면
노면	-	-	단단하고 평탄	단단하고 평탄	가끔 연약 약간 요철	연약 요철
경사	-	-	경사도 有	수평	거의 수평	경사지 有
면적	-	-	多	少	多	多
속도	高 速	中 速	中 速	低 速	低 速	低 速
1회사용시간	10시간	20일	20시간	10분	1시간	5시간
사용장소	육외	육외	육외	육내	육내외	육외
장해물	少	少	多	多	약간 多	少
운전자	프로	프로	일반인	세미프로	프로	일반인

1) 사용범위, 속도, 시간

우리나라는 포장이 큰 것이라도 사방 數 100m 이며, 대부분 사방 100m 이하이다. 그러나 항공기나 선박 등이 어느 점에서 어느 점까지 이동하는 것만을 목적으로 하는 데 비하여 농용차량은 시점에서 종점까지 사이를 전면을 페인트칠 하듯이 작업하는 것을 목적으로 하고 있다. 따라서 구획은 좁아도 주행거리는 아주 길게 된다. 작업속도는 느린 것은 0.1m/s, 빠른 것도 2m/s 정도이며, 눈에서의 작업에서는 0.5m/s 정도인 것이 많다.

예를 들면 100 x 100m의 정사각형 포장의 구획(면적 100ha)에 대하여 작업폭을 2m로 하면 구획의 대각선 거리는 141m 이지만 주행거리는 5km에 달하며, 작업속도를 0.5m/s로 하면 작업시간은 약 3시간이 된다. 이와같이 1회 사용시간이 아주 길기 때문에 드리프트가 없는 센서가 바람직하다.

2) 위치검출 精度

요구되는 위치검출 精度는 作目, 작업 등에 따라 다르기 때문에 한마디로 말할 수 없지만 관행의 이양작업을 예로 들면 條間의 불균일은 포장내의 어느점에서도 거의 5cm 이하이다. 100 x 100m의 포장을 예로 절대적인 점을 기준으로 한 위치검출법을 전제로 하여 이탈량 5cm를 분자로 하고 대각선 거리를 분모로 하면 5cm/140m, 즉 약 1/3,000의 위치검출 精度가 된다. 또 총 주행거리 5km를 분모로 취하면 1/100,000이라고 하는 高精度가 되어 표 4와 같이 타 분야와 비교할 수 없는 精度가 요구되는 것이 사실이다.

표 4 각종 방법에 따른 위치검출 精度의 예

사 례	발표 精度 및 조건	오 차
관성항법(항공기)	1시간(약 1,000km)마다 오차 3km	3/1,000
로란C(선박)	표지에서 1,500해리의 점에서 오차 1/4해리	1/6,000
자동차용 관성항법장치	주행거리에 대한 오차 1%	1/100
승용이양기 손운전	100 x 100m 포장(대각선 거리 140m)에서 작업폭 2m, 5km 이동하여 5cm의 오차	5/14,000또는 1/100,000

3) 사용환경

路面은 눈과 같은 軟弱地로부터 草地, 砂地 등 다양하고 凹凸도 많고, 20도 가까운 경사지까지 존재하여, 차량은 크게 기울어 지거나 심하게 진동을 받기도 한다. 비닐하우스 등을 제외하면 포장은 옥외에 있으며 먼지, 태양광, 비바람, 때로는 농약, 비료 등 강한 화학적 성질을 가진 것에도 노출된다. 그러나 路上 교통과 같이 不特定多數의 보행자나 차량, 건조물 등의 장애물을 문제로 할 필요는 거의 없다.

4) 가격

자율주행 차량을 도입하기 위한 투자가 얼마큼 수입증대에 이를까는 중요한 문제이다. 사용자를 국내의 농가만으로 보면 대다수가 개인 영농이고 가족노동에 의존하고 있다. 따라서 대규모 투자가 어려울 뿐만 아니라 경비로서 임금의 실태가 불명확하기 때문에 기업과 같이 생력화에 의한 비용 절감효과를 단순히 계산할 수가 없다. 또 농업에서는 계절성이 강하며 대상이 생물이기 때문에 투자에 대한 생산의 속도를 높이는 데는 한계가 있으며, 생력효과를 경영규모의 확대에 반영시키는 것도 우리나라의 토지사정에서는 쉽지 않다. 따라서 자율주행은 저비용으로 달성하지 않는 한 보급의 전망은 밝지 않으며 이점이 타 산업에 비하여 큰 문제로 된다.

5) 운전자

대다수 농가에서는 자율주행을 위하여 전임의 운전자를 두는 것은 어렵다. 농업용 자율주행 차량은 자동차의 운전과 같은 정도로 누구나 취급할 수 있도록 조작성이 간단한 것어야 하며 또 고장이 적고 높은 신뢰성을 필요로 한다.

3. 농업기계 자율주행의 과제

농업동력분야에 있어서는 운전자 없이 농작업기를 이동시킬 수 있도록 자율주행장치를 장착하여 로봇화하는 것이 최종목표이기 때문에 이 목표를 달성하기 위한 부분 요소기술을 분담하여 진행시키고, 시스템을 완성하여 실용화 하는 순서로 접근하여야 한다.

4. 전기차량화

지금까지 농업동력은 내연기관이 주를 이루고 있었다. 그러나 이제부터는 농업기계도 탄산가스 발생의 규제 등 환경보전면을 고려하여야 할 것으로 전망된다. 따라서 트랙터, 콤파인 등 포장의 동력은 전기차량화 하는 연구가 필요하며, 시설내의 방제, 운반 등 재배관리용 동력은 배터리 카의 이용이 많아 질 것으로 본다.

국내 자동차 업계의 전기자동차 실용화를 눈앞에 두고 있고, 사용기간이 긴 배터리의 개발이나, 고속충전장치에 대한 연구는 자동차 생산업체마다의 노하우지만 전기자동차의 판매가 시작되면, 이 기술이 일반화 될 것으로 전망되며 이제 농업기계의 전기차량화 연구를 시작할 시점이라고 본다.

III. 시설자동화

1. 연구개발 목표

- 가. 환경제어: 식물공장
- 나. 재배관리: 로봇화

2. 식물공장

가. 식물공장의 개념

일반적으로 식물의 환경제어기술은 미국에서 약 40년전에 탄생한 화이트트론을 생각할 수 있으며 이것은 캘리포니아 공과대학에서 식물실험을 하기 위하여 만든 환경제어 시스템이다. 현재는 시설원예, 식물공장 등과 같은 식물생산을 위한 시설로 발전되고 있다.

최근 환경제어 기술의 특징은 컴퓨터에 의한 프로세서 제어가 중심이며, 정보과학(공학)적 수단을 다량 투입하고 있다는 점이다. 양액공급의 제어는 어떤 의미에서 화학제품 등의 제조공정에서 볼 수 있는 성분제어와 비슷하고, 전체적으로 공업프로세서 제어 시스템에 근접하고 있다. 이와 같은 정보과학적 색채가 강한 환경제어를 초보적 空調인 환경제어와 구별하여 高度 환경제어라 칭하는 경우도 있다.

식물생산은 생물적인 취급에 중점을 둘 필요가 있으며, 단순히 컴퓨터나 고도의 제어기기를 사용해도 바로 생산성 향상으로 연결되지 않는다는 것은 흔히 듣는 말이다. 생물적 취급은 부분적인 계측보다는 전체적인 파악이 중요하며, 數理 모델보다는 경험적인 지식을 근거로하여 취급하는 것이 더욱 중요하다. 다시 말하면 지능적 취급이 중요하다는 것이다. 예를 들면 관개개시점의 결정에 있어서 식물군을 대상으로 화상처리에 의한 방법의 개발을 시도한 연구도 있다. 그러나 이의 실현을 위하여는 센서, 계측시스템 및 정보처리 시스템 등 첨단기술을 도입할 필요가 있다. 연구실 레벨에서는 가능한 기술도 현장에의 응용, 또 실용화에는 많은 기간을 요한다고 생각된다.

나. 환경제어

시설원예 자동화에 있어서 환경제어를 위한 하드웨어는 아직 표준화 규격화 문제가 있지만 어느정도 성과를 거두었다고 평가된다. 그러나 소프트웨어에 있어서는 소프트웨어 개발에 필요한 재배환경 기준설정을 위한 자료부족 등으로 현장에서는 어려움이 많다. 농민의 재배기술을 능가하는 소프트웨어 개발 연구를 위하여 농업공학 기술자가 생물성장과 환경의 기본원리를 습득해야 하며, 우수 독농가의 재배 노하우를 수치화하는 연구와 생물과 환경에 관한 최근정보를 입수하

기 위한 재배학자와의 정기적인 정보교환의 장이 필요하다고 보면서 먼저 농업공학 기술자가 알아야 할 식물생장과 환경의 기본원리 알아본다.

1) 성장과 환경

식물공장이 고도환경제어에 의하여 연속생산을 하는 이상 환경제어는 무엇보다도 중요한 기본적인 기술이다. 식물은 기본적으로는 광합성 작용에 의하여 성장한다. 광합성에 의하여 만들어진 탄수화물은 잎으로부터 다른 器官에 이동한다(轉流). 탄수화물은 질소동화작용에 의하여 만들어진 아미노산 등과 함께 생합성을 통하여 식물체를 구성한다. 이것에 필요한 에너지는 호흡에 의하여 탄수화물을 산화하여 얻는다. 이 프로세스를 도시하면 그림 5와 같다. 여기서 光合成, 轉流, 呼吸 등 생리반응과 전체의 성장이 환경조건에 크게 의존하기 때문이다. 식물공장은 주어진 조건하에서 식물의 성장을 최적화 하는 기술이라 할 수 있다.

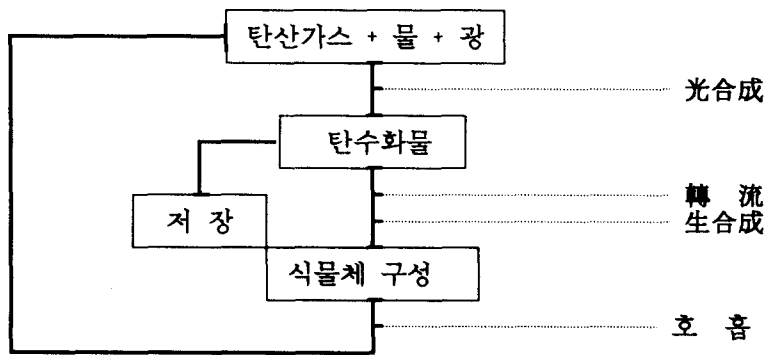


그림 5 식물성장의 기본 생리반응

식물의 성장에 영향을 주는 주요한 환경 요인으로서는 光(強度, 光質, 日長), 온도, 습도, 탄산가스농도, 풍속 등이며, 한편 根系 조건으로서는 배양액의 pH, EC(전기전도도), 비료성분, 액량, 액온, 용존산소량, 액의 유속 등이 있다. 또 최근에는, 電磁場, 음향, 원적외선 등이 성장에 영향을 준다는 것도 주목되고 있다(표 5). 따라서 기본적으로는 광합성, 호흡, 轉流, 성장과 이들 환경조건의 전부 또는 일부와의 관계를 밝혀두면 최적환경제어가 가능하게 된다. 그러나 동시에 복수의 환경요인에 의한 현저한 복합효과도 실제상 중요하다. 이에는 다음과 같은 것이 있다.

① 리비히(Liebig, J. von)의 최소 법칙

뿌리로부터 흡수되는 식물의 12가지 필수원소의 최소필요량은 식물에 따라 결정되어 있다. 어떤 원소만이 최소량 이하로 되면 다른 원소가 충분하여도 성장이 저해된다. 즉 식물의 성장은 가장 부족한 원소(限定要因)에 의하여 지배된다는 원리이다.

표 5 식물성장에 대한 주요 환경 요인

부 위	환경 요인
지상부	광(強度, 光質, 日長) 온도, 습도, 풍속, 탄산가스농도
지하부	배양액의 pH, EC, 비료성분, 액온, 액량, 액의 유속, 용존산소량
전 체	電磁場, 音響, 원격외선

② 블랙맨의 한정요인설

광, 온도, 탄산가스농도 등의 환경요인도 리비히의 최소법칙과 같은 법칙이 지배한다는 것을 블랙맨(Blackman, F.F.)이 지적했다. 예를 들면 광이 약하면 아무리 탄산가스농도를 높여도 광합성은 일정치 이상 되지 않는다. 반면에 탄산가스농도가 낮으면 광이 아무리 강하여도 광합성은 일정치에서 포화되고 만다. 따라서 환경제어에서 가장 중요한 것은 수준이 낮은 요인이 있으면 우선 그것을 높여야 한다는 원리이다.

③ 限界效用 遞減法則

한정요인설은 특정 환경요인의 레벨이 낮은 경우에 성립하는 법칙이지만 특히 완전제어형 식물공장에서는 주요한 요인을 임의로 조절하기 위하여 특정 환경요인이 최적치 혹은 한계치가 되도록 하는 경우가 많다. 특히 일장이 관련되는 경우에는 이 한계치 부근에 새로운 복합효과가 나타난다.

그림 6은 엽채류에 대한 광합성속도의 탄산가스농도 의존성을 조사한 결과이다. 광강도가 18klx의 조건하에서 일장을 12시간에서 24시간으로 연장하면 광합성 속도가 저하할 뿐만아니라 그 응답특성이 포화형에서 최적형으로 변화하여 최적치는 1,000ppm으로 낮은 레벨로 떨어진다.

일장이 극단으로 길면 잎은 늘 강제로 광합성을 행하게 되어 생체는 동적평형(homeostasis)을 유지하기 위하여 광합성을 저하시키는 쪽으로 생리학적인 변화가 일어 발생한다. 실제 광강도와 탄산가스농도를 높인 상태에서 일장 24시간 조건하에 식물을 오래동안 두면 잎의 기공의 현저한 감소가 관찰된다.

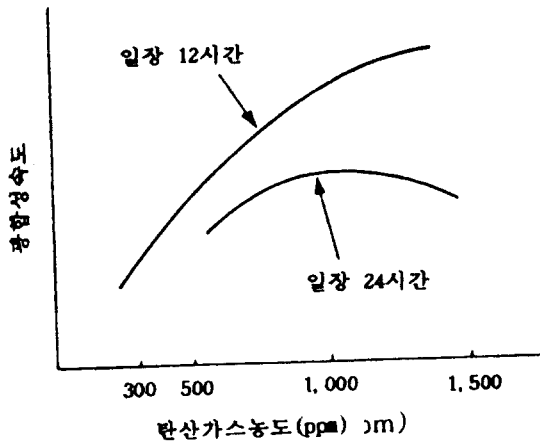


그림 6 엽채류(사라다나)의 광합성 속도의 탄산가스농도 의존성

이 일장의 예로부터도 식물의 성장에는 생리학적으로 정해진 한계가 존재하며, 환경요인의 복합적 총화에 대한 포화특성이 나타난다고 생각된다. 일반적으로 입력과 출력 사이에 포화관계가 있을 때 입력의 증대와 함께 입력의 증분에 대한 출력의 증분비(한계효용)는 감소한다. 이것을 「한계효용 遞減法則」라 알려져 특히 경제학에 있어서 잘 알려져 있다. 이 포화현상은 광합성에 대한 광강도나 탄산가스농도의 개별 포화특성과는 다른 것이다.

2) 환경제어의 원리

① 최적화 원리

식물공장에서는 일반적으로 환경제어의 비용이 많이 든다. 제어비용이 많은 요인의 한계효용이 체감하는 영역에서 환경제어를 하는 것은 분명히 좋은 방법이 아니다. 복합효과를 충분히 고려하면서 비용이 낮은 요인을 풀가동시켜 그 위에 부족한 분의 비용이 많이 드는 요인을 보충하는 방법이 바람직하다.

지금 각 환경요인에 대하여 제어비용과 제어효과의 비, 즉 코스트퍼포먼스(cost performance)를 고려하면 「코스트퍼포먼스가 큰 환경 요인으로부터 최적화 한다」는 것이 가장 합리적이라는 것이된다. 그러면 광강도, 일장, 온도 등 비용이 높은 환경요인이 한계치로 되지 않은 영역에서 목적인 성장을 달성할 가능성이 나온다.

이 원리를 식물공장의 「최적화 원리」라 한다. 「최적화 원리」는 일반적인 것이지만 광환경의 비용은 0이고 온도환경의 비용이 높은 태양광 이용형과 양자의 비용이 모두 높은 완전제어형에서는 복합효과의 적용 방법이 다르다.

③ 태양광 이용형

태양광은 일반적으로 변동이 심하다. 맑은 날이 있으면 흐린날이 있다. 또 日長에는 자연히 한계가 있다. 램프로 보광하는 경우도 적지 않지만 이것은 일조가 적은 시기나 장소에 있어서의 보광이고 광 조건을 한계치에 설정하는 것은 아니다.

태양광 이용형에서는 여름에 시설내가 고온으로 되며 온도를 최적치로 설정하는 것이 비용적으로 어렵다. 지상부에서는 광환경이 한계요인으로 될 가능성이 있기 때문에 보광하지 않는 경우는 블랙맨의 한계요인설이 문제로 된다.

태양광 이용형 식물공장의 전신은 시설원예이지만 여기서의 환경제어는 변온관리나 때로는 복합환경제어가 채용되고 있다. 변온관리에서는 작물(주로 과채류)의 온도생리의 간단한 모델을 만들어 가온과 환기의 제어를 행한다. 맑은 날에는 주간은 광합성의 적온을 유지하며, 야간은 호흡에 의한 소모를 억제하기 위하여 온도를 낮춘다. 또 오후가 되면 저녁까지 轉流가 왕성하게 되기 때문에 이것에 맞추어 온도를 조금 낮게 한다. 한편 흐린날은 광합성이 저하되기 때문에 블랙맨의 한계요인설에 따라 온도를 광합성의 적온으로 하여도 별수 없다. 따라서 호흡소모를 억제하는 낮은 온도로 설정한다.

다. 환경제어의 과제

환경제어는 농민의 경험적 재배기술을 능가하는 소프트웨어 개발연구를 위하여, 개발을 담당하는 농업공학기술자가 생물성장과 환경의 기본원리를 습득해야 하며, 우수 독농가의 재배 노하우를 수치화 하는 연구의 추진이 필요하며, 생물과 환경에 관한 최근 정보와 기술을 교환, 입수할 수 있는 재배학자와의 정기적인 정보교환의 장이 필요하다고 판단된다.

3. 로봇화

가. 생물생산 로봇의 개념

생물생산 로봇을 구성하는 각 요소에는 대상이 복잡하고 다양한 식물체와 토양이기 때문에 필요한 이론과 기술이 많이 등장하고 있다. 이들 이론과 기술은 메케닉스(mechanics), 일렉트로닉스(electronics), 화상처리기술, 화지(fuzzy), 인공지능, 농산물성 등의 공학적 접근이 필요한 것은 말할 것도 없다. 그러나 이 복잡하고 다양한 식물체와 토양의 또 한가지 성질로서 잊어서는 안되는 것은 유연성이다. 바꾸어 말하면 식물체와 토양은 외계로부터의 입력에 대하여 버퍼(buffer)적인 성질을 가진 「살아 있는 것」이라는 것이다. 즉 생물생산 로봇은 식물체와 토양에서 얻어진 정보 중에서 어느 정보를 어떻게 로봇에 반영하겠는가라는 것을 생각하지 않으면 안된다. 현재 사람이 재배관리하고 있는 대부분의 재배작물도 사람이 다루기 좋도록 또 작업기에 적합하도록 품종개량 등이 이루어져

있다. 이것은 재배관리기술, 품종선택, 유전자공학, 생산물의 품질평가, 케미컬 컨트롤(chemical control) 등 작물 원예학적 접근이 있었기 때문이며, 이와같은 원리로 생물생산 로봇에 있어서도 이들은 반드시 필요하다. 예를 들면 금후 식물체의 생물적 측면을 살린 로봇용 재배법, 로봇용 작물 품종 등이 개발 제안될 것으로 기대하고 있다.

농업에 있어서 로봇의 연구 개발은 작업의 자동화에 관한 것을 포함시키면 아주 오랜 역사를 가지고 있다. 그러나 국제적으로 농업의 로봇화 시대의 인상을 명확히 한 것은 1983년에 소개된 일본 경도대학 川村登교수 팀이 개발한 과실 수확 로봇이다. 이 로봇은 지능 로봇이며 일본에 있어서 농업용 로봇의 원조이다. 이것은 포장을 이동하며 수확작업을 하는 로봇이며, 온실이나 식물공장 시스템을 고려하여 설계한 것은 아니지만 식물공장 시스템에도 적용할 수 있는 조건을 일부 가지고 있다.

이 지능 로봇은 토마토의 과실을 인식하고 머니플레이터로 수확하는 것으로 이동은 배터리 카에 의한다. 과실의 인식은 시각센서로서 TV 카메라를 사용하고, 토마토 과실과 잎과의 반사분광 특성과의 차이에 착안하여 赤色信號와 輝度信號를 비교하여 얻고, 머니플레이터와의 거리는 쌍안 입체경의 원리를 적용하여 스테레오 카메라 방식으로부터 계산하여 구한다. 머니플레이터는 5자유도이며, 과실을 집은 후에 당겨 수확한다.

한편 일반적인 로봇의 개념과는 다른 겐트리 시스템(gantry system)도 농업에 있어서 중요한 자동화 기계로서 농업분야에 있어서 광의의 로봇으로 생각할 수 있다. 겐트리시스템은 포장에 기계가 주행하는 레일을 설치하여 농작업을 하는 거대한 자동화 기계이며 그 역사는 트랙터 이전으로 거슬러 올라간다. 물론 당시는 증기이용으로 자동화 기계는 아니었다. 이 겐트리 및 그 착안이 농용 로봇에는 특히 유효하고 기대되어 지금도 개발 검토되고 있다.

나. 생물생산 로봇의 개발 사례

생물생산 로봇의 개발을 요소연구단계, 개발단계, 실용화 보급단계로 나누면 현재 일본은 개발단계이며, 우리나라는 요소연구단계라고 생각된다.

로봇의 요소연구는 머니플레이터, 핸드, 센서, 이동기구 및 컴퓨터와 제어장치에 관한 것으로 이 중에서 우리나라는 화상처리를 중심으로 하는 시각센스에 관한 연구를 주로 하고 있다. 또한 재배관리를 위한 로봇의 개발연구는 일본의 경우 실용화 단계인 접목로봇을 비롯하여 과채류수확기기가 주를 이루고 있으며, 우리나라의 경우 경북대학교 장익주교수 팀이 사과 수확로봇으로 독특한 핸드 및 머니플레이터를 개발하여 주목을 끌고 있다.

식물 배양의 자동화·로봇화는 최근 급속히 연구개발이 진전되고 있는데

일부 예외를 제외하고는 아직 실용화에는 미치지 못하고 있다. 그러나, 머지않아 배양묘의 자동생산은 당연하게 될 것으로 전망된다.

바이오테크놀로지 기술에 있어서 작업의 특징은 미세하고 손상되기 쉬운 조직이나 幼植物을 無菌的으로 소프트하게 취급하지 않으면 안된다. 칼루스(callus), 원괴체(PLB:Protocorm Like Body) 혹은 苗條基原(Shoot primordium) 등의 대량증식을 위한 배양조직의 繼代培養(Subculture) 단계에 있어서 접종작업을 자동적으로 행하는 데는 식물조직 접종 로봇시스템이 효율적이다.

식물의 배양조직을 접종하여 크론(Clone)묘를 대량 번식하는 경우의 순서를 나타내면 그림 7과 같이 된다. 우선 모식물의 경정부를 적출한 후 배지에 접종하여 칼루스, PLB, 묘조기원 등의 배양조직을 유도한다. 유도된 조직을 繼代培養에 의하여 필요한 양까지 대량증식한다. 그 후 器官을 분화시켜 식물개체를 얻는다.

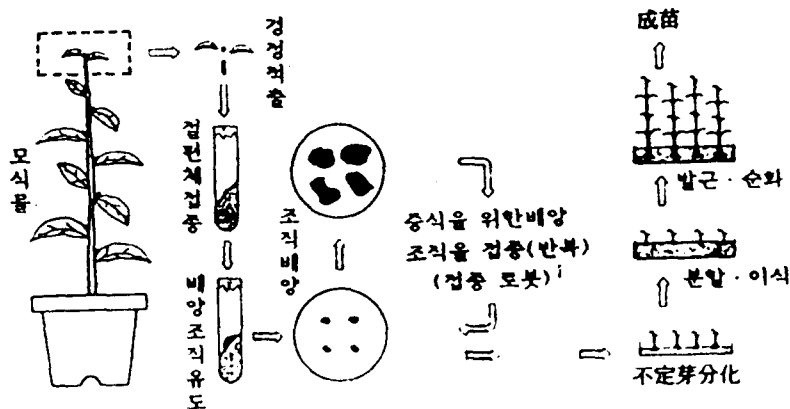


그림 7 苗條原基, PLB, 칼루스 등의 조직 접종에 의한 증식의 순서

접종작업에는 샐레 중에서 배양된 식물조직을 적당한 크기로 절단한 후 분리하여 각각의 조직덩어리를 포착하여 신선한 배지가 들어 있는 샐레에 접종하는 일련의 조작이 행하여 진다. 또 이에 수반하여 메스날 등의 소독작업도 필요하다.

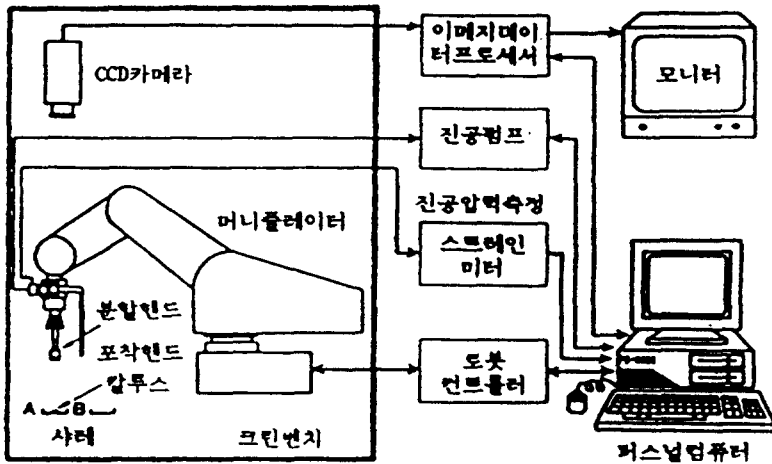


그림 8 집중 로봇시스템의 개략도

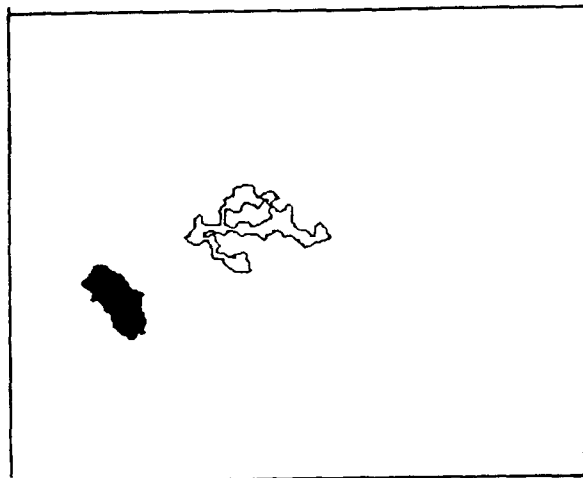
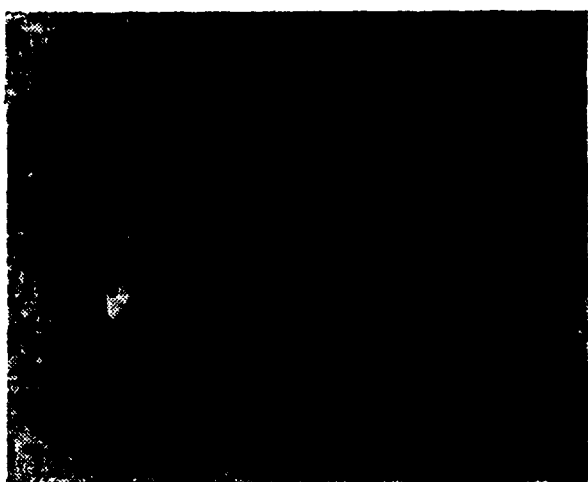
그림 8은 담배 및 당근의 칼루스를 집중대상으로 조직의 분할·이식을 행하는 집중 로봇시스템의 개요를 나타낸 것이다. 미분화 세포의 덩어리인 칼루스는 아주 연약하고 사람의 손끝으로 집어 올리는 데도 숙련을 요하는 물성이다. 한편 PLB나 묘조원기는 굳은 조직이기 때문에 비교적 취급하기 쉽다. 따라서 칼루스 집중 작업이 가능한 시스템이라면 PLB나 묘조원기에의 적용은 아주 쉽다. 또 무균작업은 머니플레이터 본체를 크린벤치에 설치하든가 또는 핸드와 암(arm)의 일부를 크린벤치내에 삽입하여 행한다.

다. 생물생산 로봇개발의 과제

그러나 농업용 로봇의 개발에 있어서, 작물의 생육특성에 대한 지식의 부족 등으로 인하여 로봇 시스템을 구성하는데 실용성이 없는 방향으로 가고 있는 몇가지 예를 지적하고자 한다.

많은 농업기계 학자들이 재배에 대한 지식이 부족하여 지금까지의 재배기술을 고수하려는 고정관념을 때문에 로봇의 개발에 어려움을 겪고 있다. 그 한 예로서 일본 경도대학에서 개발 중인 수박 수확로봇에 있어서는 수박이 앞에 가려 보이지 않아서 시각 센서 개발에 많은 어려움을 겪고 있었다. 이에 금년 봄 일본농기학회에서 경도대학 연구팀이 발표한 것으로 수박이 앞에 가려져 있어 보통의 카메라로는 과실의 인식이 불가능 하지만 800nm의 파장에서 잎과 과실의 반사율의 차이로 인하여 그림 9(a)와 같이 그 부분이 약간 흰색을 띄고 있는 분광반사특성 착안하여 화면을 화상처리하여 그림 9(b)와 같은 결과를 얻어 수확의 위치를 찾아내는 기발한 착상으로 공학적으로는 우수한 결과를 얻었다고 평가된다. 그러나

한편 생각하면 이것은 공학적방법은 우수하지만 좋은 로봇을 개발하기에는 적합하지 않다고 생각된다. 다 같이 왜 좋은 로봇 시스템을 구성할 수 없는가를 생각해 봅시다.



(a) 원화상

(b) 인식

그림 9 수박과실의 원화상 및 인식결과

결국 수박의 위치를 찾은 후 잎을 저치고 꼭지를 찾아 가위로 꼭지가 달려 있는 줄기를 잘라 핸드로 집어 올리는 알고리즘이 구성될 것으로 판단된다. 얼마나 복잡한 과정이며 실용적인 핸드와 머니플레이터의 개발이 얼마나 어렵겠는가.

본인은 이것을 재배적인 측면에서 접근한다면 간단히 해결할 수 있다고 생각해 보았다. 즉, 수박의 덩쿨을 지면에 깔아서 재배하는 현재의 재배방법을 머스크멜론이나 오이, 토마토와 같이 수직 지주식으로 재배한다면 보이지 않는 수박을 어렵게 찾을 필요도 없고 잎을 저치고 꼭지를 찾을 필요도 없기 때문에 삭업이 아주 간단해 짐으로써 핸드와 머니플레이터는 단순화될 것으로 본다. 따라서 생력화 및 자동화가 가능한 재배기술의 제안하여 로봇을 연구하는 공학자가 재배기술 연구자에게 로봇용의 재배기술을 연구 검토할 수 있도록 제안하고 공동으로 연구하는 체제가 되어야 할 것으로 본다.

한개씩만을 딸 수 있는 작업능율이 아주 낮은 방울토마토 수확 로봇의 발상이라던가, 기계적 방법으로 간단하게 처리할 수 있는 자동화 기술도 남에게 멋 있는 연구처럼 보이기 위하여 컴퓨터나, 화상처리를 이용한 예도 볼 수 있다. 그러나, 실제로는 간단한 기계적 방법이나 간단한 전자회로를 사용하여 자동화하는

방법으로 실용화된 것이 더 많다. 일본(생연기구)에서 접목로봇은 완전 기계식 제어 방법으로 제작된 것이지만, 아주 실용성이 높은 농업용 로봇으로는 처음으로 금년 7월 시판하게 된 좋은 예이다.

IV. 結 論

국제화 시대를 맞아 우리농업을 지키고 나아가 우리 농업을 세계의 농업으로 성장 발전 시켜나가기 위한 농업기계분야 연구자들의 농업동력 및 시설자동화에 대한 연구과제 검토하여, 부족한 연구비와 적은 연구인력으로 연구개발을 효율적으로 추진하도록 하는데 작은 보탬이 되기를 기대하며 주요 과제를 다음과 같이 요약한다.

1. 농업동력은 환경보전을 위한 전기차량화와 농업의 로봇화를 위한 자율주행을 최종목표로 설정하고 이의 연구를 단계별로 추진한다.
2. 시설원예는 있어서 환경제어는 농민의 재배기술을 능가하는 소프트웨어 개발 연구를 위하여 농업공학 기술자가 생물성장과 환경의 기본원리를 습득해야 하며, 우수 독농가의 재배 노하우를 수치화하는 연구와 생물과 환경에 관한 최근정보를 입수하기 위한 재배학자와의 정기적인 정보교환의 장이 필요하다고 본다.
3. 시설원예의 재배관리 자동화는 로봇화를 최종목표로 설정하고 기계공학적 접근보다는 재배와의 타협에 의한 작물기술자와 엔지니어의 협동연구가 필요하며, 이를 위하여는 기계기술자에 의한 재배방식의 새로운 제안이 필요하며 이것을 재배기술자는 지금까지의 고정관념을 버리고 적극적인 연구와 검토를 하여 협동연구를 완성할 수 있을 것으로 본다.