

# 첨단 기술과 농업의 융합

The convergence of high technology and agriculture

박주석\* · 문정훈\*\*

Joo Suc Park, Junghoon Moon

## ABSTRACT

심각한 기후 변화와 증가하는 인구에 따른 전 세계적인 식량 부족 현상으로 농업 분야에서의 자동화는 점점 중요성이 커지고 있다. 특히 우리나라와 같이 농업 인구의 고령화, 해외 수입 농산품과의 가격 경쟁력 향상과 고 생산성 요구가 거센 환경에서는 농업의 자동화는 다가오는 미래가 아니라 반드시 적용하고 해결해야만 하는 필수 요소가 되었다. 농업은 제한된 공간에서 저 노동력으로 최대의 생산성을 얻기 위해서 다양한 최신 학문 영역과의 융합을 시도하고 있다.

이 문서에서는 이에 관련하여 농업과 로봇(자동화) 산업의 결합에 중점을 두고 농업용 로봇과 식물공장의 주요 기술을 소개하고 사례를 설명하는 것을 목적으로 한다.

**Key Words:** 농업, 기계시각, 엔드이펙터, 식물공장

\* 고려대학교 제어계측공학과, E-mail: musime01@korea.ac.kr

\*\* KAIST 경영과학과, E-mail: jmoon@kaist.ac.kr

## 1. 서론

지금 세계는 18세기 산업혁명의 결과로 급속한 산업의 발달을 이루었으나 인구가 기하급수적으로 증가하고 심각한 기후 변화로 인해 안정적인 식량 확보 문제가 대두되고 있다. 이에 따라 각 국(國)은 이 문제를 해결하기 위해 에너지 문제와 더불어 중요 국가 정책으로 선정하고 있다. 이러한 시대적 배경에 따라 농업분야도 관련기술의 급속한 발전과 구조 혁명이 이루어지고 있다. 농업은 고전적으로 자연환경과 인력에 의존하는 1차 산업의 성격이 강했으나, 최근에는 기술과 서비스가 집약되는 2차, 3차 산업을 포함하는 복합 산업으로 성장하고 있고, 변화하는 농업의 개념에 따라 농업 방식의 개선이 요구 되고 있다. 특히 우리나라와 같이 단위 면적당 생산량이 적고, 농촌 인구가 적으며, 농촌 기피율이 높은 환경에서는 농업의 기계화, 자동화, 컴퓨터 정보처리 등의 기술도입을 통한 생산성 향상, 경영구조 개선이 요구되고 있다.

## 2. 농업용 로봇

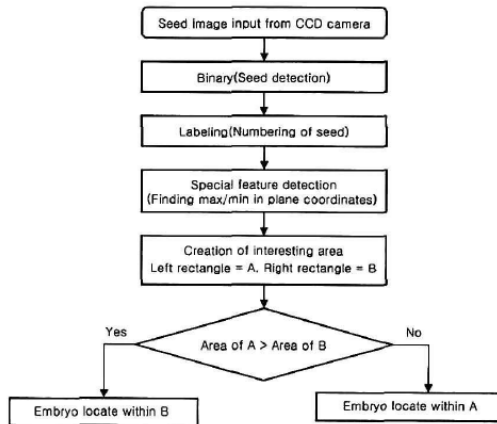
### 2.1. 농업용 로봇의 구성

농업용 로봇은 농업 시스템의 중요한 물리적 생물학적 특성을 측정하는 검출 체계(sensing system)와 농업 방식이 어떻게 제어되어야 하는지를 결정하는 감지체계(sensor system)로부터 정보를 조작하는 의사결정 능력, 농업 체계를 적절히 조정하는 액추에이터(Actuator) 등의 3개의 기본구조로 구성된다.(옥환석, 2009) 검출 체계와 감지체계에서 성공적으로 쓰이고 있는 기술이 바로 기계시각(machine vision)이며, 액추에이터(Actuator)분야에서는 매니플레이터에서(Manipulator)와 엔드이펙터(End-effector)기술이 쓰이고 있다.

### 2.2. 기계시각

기계시각(machine vision) 기술이란 일반적으로, 인간이 눈으로 보고, 인지하며, 사고하는 작업을 기계가 대신하여 하는 기술을 통칭하여 일컫는다(조태훈,

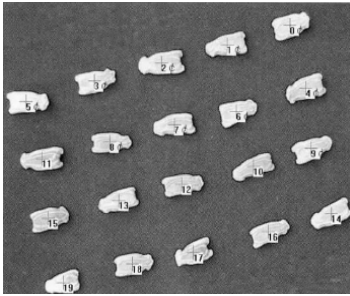
1999). 1970년대부터 발전해온 영상처리 기술을 바탕으로 하여, 거의 모든 산업 분야의 자동화 시스템에서 위치 보정, 품질검사, 분류 및 인식 등의 용도로 많이 사용된다. 전형적인 기계시각 응용에서는 작업환경에 있는 영상 카메라가 검사 대상 물체의 영상을 취득하여 기계 시각 컴퓨터(Machine Vision Computer)에게 보낸다. 그러면, 컴퓨터는 영상해석 소프트웨어(알고리즘)를 이용하여 영상들로부터 정보를 추출하여, 이 영상들에 대한 판단, 즉 주로, 위치 확인, 검사, 인식, 자동측정 등을 수행하게 된다. 이 기계 시각을 농업에 적용하려는 시도는 꾸준히 증가하였으며, 일부 선진국뿐만 아니라 국내에서도 다양한 시도가 있었다.



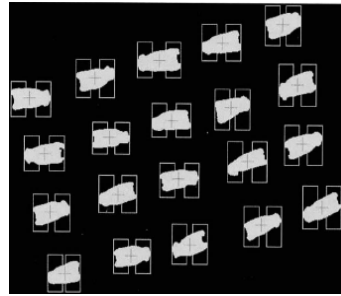
〈그림 1〉 씨눈 판별 흐름도

- 첫 번째로 CCD 카메라와 컴퓨터를 이용하여 씨눈 위치 판정 알고리즘이 개발되어 있으며 씨눈의 판정을 위한 영상처리 단계는 그림 1과 같이 『영상 입력 → 이치화(중자추출) → 라벨링(중자 계수) → 특징점 추출(중자의 x, y 방향 최대/최소값 좌표검출) → 영상처리 영역 설정(씨눈 쪽/반대 쪽) → 면적값 추출(씨눈 쪽/반대 쪽) → 씨눈 판정』의 순서로 판정한다.

- 입력된 여러 종류의 씨들이 일정 공급 자세에서 일정 각도( $0^{\circ} \sim 15^{\circ}$ ) 범위 내에서는 100% 검출 정확도를 나타내었고, 이상각도( $30^{\circ}$ )에서도 87.2%의 검출 정확도를 나타내는 것으로 나타났다. 그림 2과 3는 씨앗의 놓인 위치가  $15^{\circ}$ 인 상태로서 그림 2은 입력영상이고 그림 3는 이치화된 결과를 나타냈다(김동역, 2004).



〈그림 2〉 Input Image from CCD camera at 15°

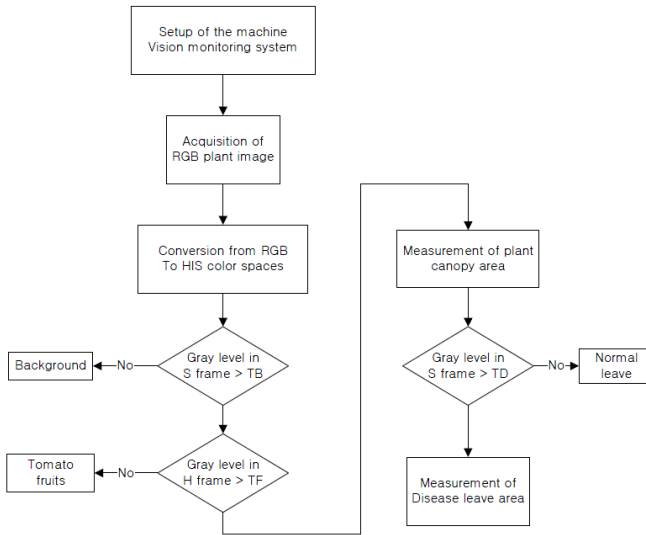


〈그림 3〉 Results of binary image

- 토마토 작물의 병해 분석에서도 기계시각을 이용한 사례가 발표 되었다. 측색계(Colorimeter, CR-100, Minolta, Japan)를 이용하여 측정한 100개의 기준 색지 중 병해 분석에 가장 유용한 10개의 기준 색지를 사용하여 분석 하였다. 각종 환경에 맞는 문턱값(threshold level)을 설정하고 그림 4처럼 구현된 알고리즘을 이용하여 육안으로 검출한 병해 면적의 85%이상을 검출하는 것이 가능하다고 측정되었다(이종환, 2008).

- 식물 종을 확인하기 위한 흑백 스케일과 컬러 영상에서 컴퓨터로 계산된 시각구조의 이용을 조사한 결과 계산 시간이 중요한 요인으로 구조 특색의 보다 작은 세트를 이용하여야 하고 이를 이용하여 잔디와 같은 화본과 잡초와 넓은 잎의 담배 종류도 분할될 때 분류 비율은 각각 98%와 95%로 분류 가능 하였다(옥환석, 2009).

위에서 언급한 예들은 시범적으로 적용한 사례이며 실질적으로 농업 분야에서 기계 시각 기술이 적용 되려면 다음과 같은 요건들을 갖추어야 한다.



〈그림 4〉 토마토 병해 분석 알고리즘 흐름도.

(TB : Threshold value for extracting background

TF : Threshold value for extracting tomato fruits

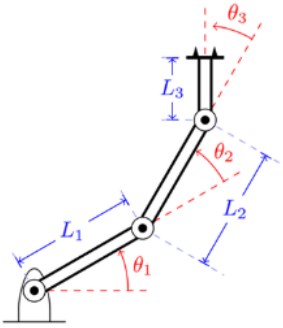
TD : Threshold value for extracting disease damage leave)

- 고속성 / 실시간성 : 실제 대부분의 적용 현장에서 요구되는 고속 실시간 영상처리 및 해석이 가능해야 한다.
- 고 정도 / 고 신뢰성 : 처리 결과가 정확하고, 높은 신뢰성을 갖기 위해서는 안정된 영상 취득 환경을 가지며, 밝기 및 콘트라스트(Contrast) 변화에 강인한 알고리즘들이 배경이 되어야 한다.
- 고 유연성 : 검사 대상 변경에 대한 적응성이 높도록, 손쉬운 프로그램 수정 및 보안이 가능한 소프트웨어 구조를 가져야 한다.
- 저 가격 : 비전 시스템(Vision System)의 현장 적용이 보다 더 활발해 지려면 가격이 저렴해야 한다.

### 2.3. 액추에이터(Actuator)

적절한 검출 및 감지 체계를 거쳐 실제 일을 수행하는 액추에이터(Actuator) 역시 중요한 요소이다. 농업용 로봇에서 쓰는 많은 부분의 액추에이터는 엔드이

펙터(End-Effector)라고 불리며, 엔드이펙터의 활동을 도와주는 것이 기계공학과 제어공학 관점에서 보는 매니플레이터(Manipulator)이다. 매니플레이터는 전기적, 기계적 매커니즘에 의해서 팔이나 손의 운동에 가깝게 운동할 수 있도록 만들어진 기계장치로 그림 5와 6은 그에 대한 역학적 해석과 실제 구현 모습이다.



〈그림 5〉 매니플레이터의 역학적 해석



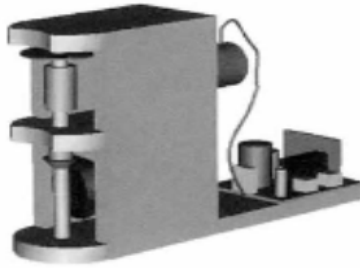
〈그림 6〉 매니플레이터의 구현 모습

대부분의 농업 환경의 경우 기계가 자동화 된 작업을 수행하기 어렵고 사람의 작업이 상대적으로 용이하다. 이러한 환경을 극복하기 위하여 사람의 작업동작과 유사한 형태로 작업을 할 수 있는 매니플레이터가 요구 되었다. 매니플레이터는 끝단에 엔드이펙터가 장착되어 엔드이펙터를 작업 대상의 위치까지 유도하는 역할을 하며, 매니플레이터에 내장된 제어기는 엔드이펙터의 회전, 절단, 흡입 및 차상 등의 동작을 제어하게 된다. 작업 대상의 위치는 초기 영상 정보를 입력 받은 후, 위에서 설명한 기계시각 알고리즘을 사용하여 물체를 인식한 뒤 되먹임(Feedback) 신호를 받아 현재 궤적(Trajectory)이 이상이 없는지 판단하는 폐 루프(Closed-loop) 시스템 방법으로 유도한다.

매니플레이터와 엔드이펙터를 이용한 사례는 농촌 진흥청과 여러 대학들이 각각 개발한 농작물(고추, 오이) 자동 수확기, 자동 잡초 제거기 등이 있으며 이미 상당부분 상용화가 연구되고 있다.

- 수확 작업에 있어서 엔드이펙터는 가능한 오이에게 손상을 입히지 않도록

해야 한다. 또한 경량이어야 하고, 고속작업에 고장이 없어야 하며, 내구성 및 온실의 상태를 고려하여 고온 다습의 환경에서 부식되지 않는 재질을 이용해야 한다. 그림 7은 성균관대학교에서 ningkuo식물의 특성과 실제 작업 환경에 맞게 협소한 공간에서 동작할 수 있도록 스텐레스 재질의 칼날과 DC 모터, 베벨기어를 이용해 개발된 오이 자동 수확기 엔드이펙터이다. 이 엔드이펙터로 실제 오이 수확을 실험해 본 결과 칼날의 각도와 회전 속도를 적절히 제어(표 1 참조)하면 실용성이 크다는 결과가 나왔다(민병로, 2003).

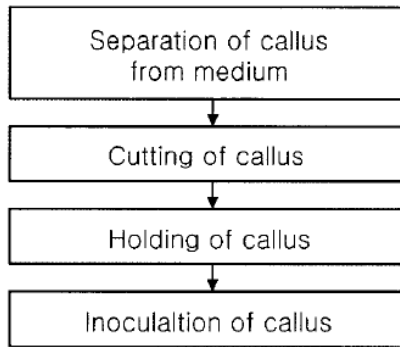


〈그림 7〉 오이 자동 수확기 엔드이펙터

〈표 7〉 오이수확용 엔드이펙터의 성능평가

Angle\Motor rpm	78	132	198	264	330
Down 15°	0/4	0/4	0/4	0/4	0/4
Right angle	0/4	1/4	3/4	2/4	3/4
Up to 15°	0/4	1/4	3/4	3/4	3/4
Up to 30°	1/4	2/4	4/4	4/4	4/4
Up to 45°	1/4	1/4	4/4	3/4	3/4

- 특히 심판원에서 시험한 접종용 엔드이펙터는 매니플레이터에 부착하여 그림 8과 같이 배지와 캘러스의 분리, 캘러스의 분할, 절단된 캘러스를 파지하여 새로운 배지로 치상하는 기능이 필요하다. 캘러스와 배지의 주식위치를 정확하게 파악하기 위하여 로드셀과 포텐서미터로 조합된 배지의 접촉반력 측정 장치를 구성하여 엔드이펙터가 배지에 닿을 때의 반력을 측정하고 절단된 캘러스를 흐트러짐이 없이 파지하여 새로운 배지로 운반하여 치상하기 위해서는 적정 진공압으로 파지할 필요가 있어, 흡입력 측정 장치를 제작하였다(정석현, 2009).



〈그림 8〉 접종용 엔드이펙터의 로봇팔 기능

### 3. 식물 공장

앞에서 설명한 로봇기술 외에도 농업 기술과 IT, NT, 로봇 등 차세대 산업 기술을 융합한 형태로 다양한 이점을 가진 식물공장 또한 활발히 시도 되고 있다.

식물 공장이란 통제된 시설 내에서 생물의 생육환경(빛, 공기, 열, 양분)을 인공적으로 제어하여 공산품처럼 계획 생산이 가능한 시스템적인 농업 형태를 말한다(강희찬, 2009). 식물 공장 연구는 1950년대 이미 유럽(덴마크)에서 시작되었으며, 미국을 거쳐 일본에서 가장 활발히 진행되고 있다.

그림 9는 일본에서 로봇 자동화 기술을 이용하여 자동 경작 시스템을 가동하는 모습으로 이미 상당 부분 상용화에 도달 했으며 미국은 뉴욕 맨해튼과 라스베가스에서 30층 빌딩 농장을 건축하고 있다. 식물공장은



〈그림 9〉 로봇자동화 기술을 이용한 자동화 시스템 사례(일본)



농업기술과 IT, NT 등 차세대 산업 기술을 융합한 형태로 다양한 이점을 지닌 차세대 농업혁명 기반이다.

식물공장은 빛의 이용 방법에 따라 크게 태양광이용형과 완전 인공광형의 두 종류로 구분되며, 상용화에 거의 도달한 상태이다.



〈그림 10〉 식물공장의 태양광 이용형과 완전 인공광형

그림 10에서 보는 것처럼 태양광이용형은 온실 등의 반 폐쇄 환경에서 태양광을 기본으로 이용하면서 비가 오거나 구름이 많은 시기에 보조 조명을 통해 보충하며 완전인공광형은 폐쇄 환경에서 태양광을 사용하지 않고 LED 등을 이용한 인공조명으로 대체하며, 공기는 인공적으로 CO<sub>2</sub> 주입, 자동 온 습도 조절 장치로 제어하며 토양은 양분을 포함한 배양액으로 대체하여 최적의 성장상태를 유지하며 생산 주기와 생산을 계획하는 형태로 아직 실용화 단계는 아니다. 기존의 인공 생산 시설인 온실과 비교하면 식물공장은 LED, 환경제어시스템, 로봇 자동화 공정 등 첨단 기술이 융합된 농업분야이다. 이 외에도 최근에는 수증기 회수 시스템, 하수 정제 시스템 등 환경제어 시스템과 로봇 자동화 기술을 이용한 무인 생산 시스템도 도입되었다. 현재의 식물공장은 대부분 수경재배를 기반으로 하고 있어 토양관리가 필요 없고, 연작을 통한 지력약화의 문제점도 해결 가능하다. 특히 북유럽의 경우 토질이 불량하여 수경재배가 일찍이 도입되었다.

식물공장의 장점을 정리하면

- 통제된 시설에서 첨단 녹색기술을 적용해 생육기간을 단축할 수 있고, 단위 면적당 높은 토지 생산성을 올릴 수 있으며, 연중 안정적인 영농이 가능하다.(2009년 4월 전주 생물소재연구소에서는 4년근 인삼을 18개월 내에 재배한 실적이 있음)
- 무농약 재배 등 친환경 농업생산이 가능하고 해충방제, 성장촉진 등 효능

항상이 강화된 농업생산물을 공급한다( LED는 식물의 광합성 및 생장에 필요한 파장역만을 공급하는 것이 가능하므로 이를 이용하여 선택적 파장을 공급할 경우 식물의 색소제어나 향산화 물질의 증강, 병해충 방제의 효과 발생).

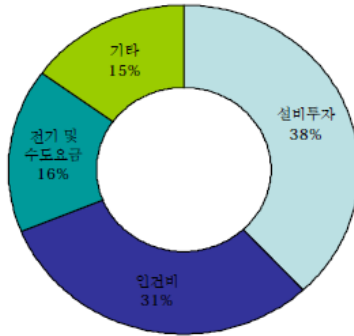
- 소비 트렌드와 기후변화에 신속하게 대응할 수 있어 농업의 소비자 지향성을 제고할 수 있다(다양한 농산물을 한 곳에서 생산할 수 있기 때문에 다양한 소비 기호에 대응 가능).

- 식물공장 육성은 해당 시장 발달과 함께 관련 전후방 산업 발달에 긍정적인 효과를 발생시킨다(표 2 참조).

〈표 2〉 식물공장의 전후방 산업

분야	내용
고효율 에너지 소재 산업	LED 인공 조명, 태양전지, 태양열, 자연채광, 지열, 풍력, 2차 전지
환경/공정 제어 산업	지능형 로봇응용 산업, 실내환경감지, 전력에너지 관리 시스템, RFID/USN을 활용
식품 바이오 산업	영양성분, 기능성 성분이 강화된 고기능 특용작물, 안전성 및 특수 목적의 항생제, 바이오 매스, 바이오 에너지 산업

많은 이점에도 불구하고 식물공장은 현재까지 초기 설비 투자비용이 매우 높아 시장 진입이 어려운 상황이다. 초기 설비 투자비용에는 특히 조명기기, 양약 재배시스템, 자동화시스템의 비중이 매우 높은편으로 일본 농림수산성의 조사결과(2009)에 따르면 식물공장의 평균 건설비는 비닐하우스의 약 17배에 달한다고 한다. 하지만 일본은 지역경제 활성화 차원에서 식물공장 사업을 추진하고 있으며, 최근에는 기후변화 대응의 주요 대안으로 사업을 진행 중이다. 또한 보조금 제도 도입을 통해 시장 활성화에 총력을 기울여 현재의 50개에서 향후 3년간 150 규모로 늘릴 계획이다. 식물공장의 비용구조는 그림 11과 같으며, 우리나라도 일본의 경우처럼 적극적인 정부 보조금 제도를 도입하여 설비투자과 전기 및 수도요금의 보조금을 지원을 하고, 민간 참여를 확대시킬 경우 시장 확대 효과가 클 것으로 예상된다.



〈그림 11〉 식물공장의 비용구조

#### 4. 결론

우리나라 농촌은 그 동안 주로 인력에 의한 농업을 해왔으며, 기계를 이용해도 그 용도가 제한적일 수 밖에 없었다. 농업인구의 급격한 저하와 농촌사회의 고령화, 여성들의 역할확대 등으로 볼 때 농촌의 일손을 덜 수 있는 농기구의 자동화와 무인 자율 로봇 시스템의 개발 및 도입은 우리나라 농업의 필수 요소로 보인다. 또한 관련 산업들의 병행 성장도 기대 할 수 있으며, 특히 로봇 산업과 USN과 같은 IT 산업, 농업 산업이 함께 융합되어 상당한 시너지 효과를 낼 수 있을 것으로 보인다. 그러므로 이 산업들을 상호 조화롭게 융합하고 발전해 나가는 것이 앞으로의 과제라고 생각된다.

## ■ 참고문헌 ■

- 강희찬. (2009). 기후 변화에 대응한 농업의 진화: 식물공장. 삼성 경제 연구소
- 조태훈. (1999). 자동화를 위한 시각 시스템의 최근 기술 동향. 한국기술교육대
- 김동익 등. (2004) 기계시각을 이용한 대립종자의 씨눈위치 판정 알고리즘 개발. 농업공학연구소, 경북대학교
- 이중환. (2008). 기계시각장치에 의한 토마토 작물의 병해엽 검출. *Journal of Biosystems Engineering*, Vol. 33, No. 6.
- 옥환석. (2009). 자율로봇을 이용한 잡초 방제 시스템. 한국 과학기술 정보 연구원.
- 정석현 등. (2009). 식물조직배양 자동화를 위한 로봇개발 - 엔드이펙터 및 시스템의 성능 시험. *생물환경조절학회지* Vol. 18, No. 2.
- 이대원 등. (2003). 오이 수확용 로봇 엔드이펙터의 개발. 성균관 대학교 바이메카트로닉스 학과.
- 백영민 등. (2007). 물체 잡기를 위한 비전 기반의 로봇 메뉴플레이터. 대한전기학회 2007년도 심포지엄 논문집 정보 및 제어부분.