

# 육묘용 로봇 이식기의 개발(I)<sup>+</sup>

- 로봇 이식기의 기계시각 시스템의 개발 -

## Development of a Robotic Transplanter for Bedding Plants(I)

- Development of the Machine Vision System of a Robotic Transplanter -

류관희\*      이회환\*      김기영\*      황호준\*  
정희원

K. H. Ryu      H.H. Lee      G.Y. Kim      H.J. Hwang

### ABSTRACT

This study was conducted to develop the machine vision system of a robotic transplanter for bedding plants. Specific objectives of this study were 1) to get coordinates of the healthy seedlings except empty cells and bad seedlings in high-density plug tray, and 2) to get the angle of the leaves of the healthy seedlings to avoid damage to the seedlings by gripper. The results of this study are summarized as follows.

- (1) The machine vision system of a robotic transplanter was developed.
- (2) The success rates of detecting empty cell and bad seedlings in 72-cell and 128-cell plug trays were 98.8% and 94.9% respectively.
- (3) The success rates of calculating the angle of leaves in 72-cell and 128-cell plug trays were 93.5% and 91.0% respectively.

주요용어(Key Words) : 기계시각 시스템(machine vision system), 로봇 이식기(robotic transplanter)

---

+ 이 논문은 1994년도 한국학술진흥재단의 공모과제 연구비에 의하여 연구되었음

\* 서울대학교 농업생명과학대학 농공학과 농업기계전공

## 1. 서론

농촌 노동력의 감소에 따라 개개의 농가에서 자가육묘하기 보다는 소위 육묘공장에서 모종을 구매하여 정식하는 농가가 늘어나고 있다. 육묘공장에서는 고품질의 모종을 공급하기 위하여 파종과 생육관리시스템에 자동화 설비를 적용하고 있으나, 결주 및 불량묘를 완전묘로 보충하기 위하여 많은 노동력을 필요로 하고 있어 이에 대한 해결책으로 육묘용 로봇 이식기의 개발이 필요하다.

외국의 경우 Tai 등(1994)이 카메라, 레이저 및 광섬유들로 구성된 기계 시각 시스템을 이용하여 결주를 찾아내는 알고리즘을 개발하였다. 이 연구에서는 레이저를 사용하여 토양 배지의 표면 높이를 측정하였고, 영상처리 결과로 결주의 3차원 좌표를 찾아내었다. 그외 Maw 등(1986)이 광센서를 사용하여 결주를 찾아내는 연구를 수행하였고, Ting 등(1990)이 그리퍼에 부착된 근접센서를 이용하여 결주를 이식작업에서 제외시킨 연구를 보고하였다. 국내의 경우 Kim 등(1995)이 그리퍼에 부착한 CCD 카메라를 이용하여 트레이에서 개개의 셀을 하나씩 검사하여 결주와 불량묘를 찾아내고, 완전묘만을 이식하는 로봇에 관한 연구를 수행한바 있으나 로봇 이식기에 대한 국내의 연구는 아직 미흡한 실정이다.

본 연구에서는 육묘용 로봇 이식기의 시각적 정보를 얻기 위한 기계 시각 시스템을 개발하고자 하였으며, 이식작업시 그리퍼에 의해 모종이 입는 상해를 최소화하고, 로봇 이식기가 최적의 작업을 수행할 수 있도록 플러그묘판을 영상처리하여 작업 데이터를 구축하는 것에 그 목적을 두었다.

영상처리 데이터는 이식방법에 따라 달라지며, 이에 따라 본 연구의 구체적인 목적은 이식할 플러그묘판에서 결주 및 불량묘가 위치한 셀의 좌표를 찾아내고, 이식방법에 따라 필요한 완전묘의 잎의 방향을 계산해내는 것이다.

## 2. 재료 및 방법

플러그묘판의 시각적 정보를 얻기 위해서는 카메라, 인터페이스 보드, 광원장치, 영상출력용 모니터 및 영상처리용 컴퓨터가 필요하다.

### 가. 기계시각 시스템 구성

#### 1) 카메라 헤드 및 제어장치

플러그묘판의 영상을 획득하기 위한 장치로 본 연구에서 사용된 카메라는 산업용 칼라 카메라로서 카메라 헤드라고 불리는 pick-up 장치와 카메라 제어장치로 각각 분리되어 있다. 카메라 헤드의 명세를 표 1에 나타내었다.

Table 1 Specifications of pick-up device used.

Manufacturer	Panasonic, Japan
Model	GP-KS162HD
Dimensions	17mm(Dia.)×36.8mm(L)
Weight	16 g
CCD sensor resolution	768(H)×492(V) pixels
Signal to noise ratio	50 dB

## 2) 영상처리용 인터페이스 보드

카메라에서 획득된 플러그표판의 영상신호는 영상처리용 인터페이스 보드를 통해 컴퓨터로 입력된다. 본 실험에서 사용된 영상처리용 인터페이스 보드는 Image Technology사의 PC Vision Plus Frame Grabber로 내부에 영상 접속부(Video Source Interface), 영상 저장부(Frame Memory), 출력논리 조작부(Display Logic) 및 주 컴퓨터와의 접속부(Host Computer Interface)로 구성되어 있다.

## 3) 광원 장치

광원으로 20W 형광등 4개를 사용하였고, 이를 고정시키기 위한 틀을 제작하였다. 광원 장치의 외형과 주요치수를 그림 1에 나타내었다.

## 4) 영상 모니터

영상 출력용으로 12인치 흑백 영상 모니터(VM-210, 30W)를 사용하였다.

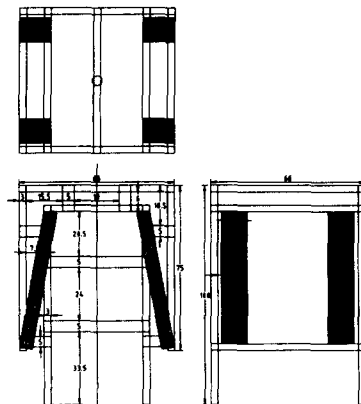


Fig. 1 Shape and dimensions of the light source device.

## 나. 결주 및 불량묘 판별 알고리즘

결주 및 불량묘를 판별하고 잎의 방향을 계산하는 알고리즘을 그림 2에 나타내었다.

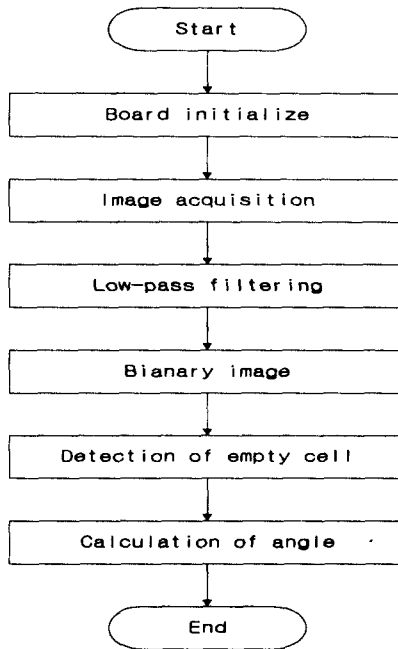


Fig. 2 Flowchart of the image processing.

### 1) 저역통과 필터(Low pass filter)

저역통과 필터는 카메라로 획득한 영상의 인접 화소(pixel) 간의 회색강도(Gray Level)의 급격한 변화를 감지하여 이를 노이즈로 판단하고, 주위 화소의 회색강도와 평균값을 구하여 노이즈를 줄일 수 있도록 해준다.

모종의 잎에 대한 영상을 획득하면, 잎 표면의 거칠기 때문에 조명에 의한 그림자가 잎 표면에 나타날 수 밖에 없는데, 이것이 노이즈로 나타난다. 이 노이즈로 인하여 결주 판단과 잎의 방향 계산에 오차가 발생한다. 이런 오차를 줄이기 위하여 획득한 영상을 저역통과 필터에 통과시켜 선명한 영상을 얻었다.

### 2) 이치화(二值化)

획득한 영상에서 잎과 상토를 구분해주기 위하여 이치화 단계를 거친다. 본 연구에서 이용한 이치화 알고리즘은 다음 세단계를 거친다.

첫 번째로 영상을 밝게 한다. 밝게하기(brightening)란 화소의 회색강도값에 일정한 값을 더하는 것을 의미한다.

$$New\ Level = Level + Brightening\ Factor \quad (1)$$

if  $New\ Level > Max\ Level$   
 then  $New\ Level = Max\ Level$

여기서, Max Level은 Level 값이 가질 수 있는 최대값

Brightening Factor는 72구인 경우 1, 128구인 경우 0

두 번째는 획득한 영상에서 필요한 정보만을 얻기위하여 해주는 과정으로 화소의 회색강도값에 일정한 값을 곱한다.

$$New\ Level = Level \times Stretching\ Factor \quad (2)$$

if  $New\ Level > Max\ Level$   
 then  $New\ Level = Max\ Level$

여기서, Stretching Factor는 72구인 경우 2.8, 128구인 경우 4.0

세 번째는 문턱값 설정(thresholding)으로 화소의 회색강도값을 일정한 문턱값에 따라 0과 1로 이치화한다.

if  $Level > Threshold$  then  $Level=1$   
 else  $Level=0$  (3)

본 연구에서는 문턱값을 실험에 의하여 72구인 경우는 7, 128구인 경우는 8로 설정하였다. 문턱값을 고정시킨 것은 장치 및 조명 상태가 정적(靜的)인 상태이기 때문이다.

### 3) 잎의 존재 유무 탐색

플러그묘판의 각 셀에 해당하는 이치화된 영상에서 1로 설정되어 있는 화소의 수를 계산하여 판별한다. 128구 플러그묘판에서는  $16 \times 8$ 개의 셀이 존재하므로  $512 \times 512$ 의 화면에 나타나는 1개의 셀은 최대  $(512 \div 16)^2 = 32^2 = 1024$  개의 화소를 가질 수 있으며, 72구 플러그묘판에서는  $12 \times 6$ 개의 셀이 존재하므로  $512 \times 512$ 의 화면에 나타나는 1개의 셀은 최대  $(512 \div 12)^2 = 42.7^2 = 1820.4$  개의 화소를 가질 수 있다. 결주 및 불량묘의 판정 기준값은 획득한 영상의 각 셀마다 화소 수를 계산하여 잎이 존재할 때의 최소 화소 수와 결주일 때의 최대 화소 수를 평균하여 구하였다.

### 4) 잎의 방향 계산

영상처리 시간을 단축시키기 위하여 잎의 존재 유무에서 잎이 존재한다고 판별되었을 경우에만 잎의 방향을 계산한다. 셀 하나에 대해서 임시 메모리에 저장되는 이미지를 그림 3

에 나타내었다.

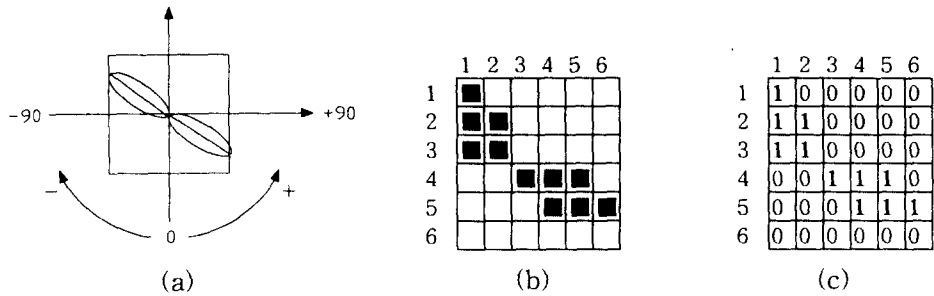


Fig. 3 Sample leaf image.

그림 3에서 (a)는 잎의 방향 계산에 대한 기준을 나타내는 그림이고, (b)는 방향이 45도일 때 화소의 상태를 나타내는 그림이며, (c)는 메모리에 저장된 모습을 보여주는 그림이다.

셀의 이미지와 비교할 기준 이미지의 잎모양을 다음과 같은 가정하에 결정하였고, 이를 그림 4에 나타내었다.

- 가정 1. 각각의 셀간에 잎이 서로 겹쳐져 간섭이 일어나므로 기준 이미지의 잎의 형태에 따른 결과에는 현격한 차이가 없다.
- 가정 2. 상호 간섭이 일어나더라도 잎의 길이 방향으로 가장 많이 '1'의 값이 분포한다.

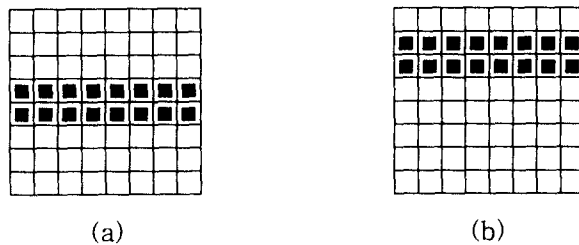


Fig. 4 Standard cell image for comparison.

그림 4에서 (a)는 잎이 셀의 중심에 있을 때의 기준 이미지이고, (b)는 셀의 한쪽에 치우쳐 있을 때의 기준 이미지이다.

기준 이미지를 회전시켜가며 획득한 셀의 이미지와 OR 연산을 수행하여, 서로 일치하는 정도를 계산하고, 오차가 제일 작은 값을 잎의 방향으로 계산하였다. 기준 이미지의 회전은 식 (4)에 의해 계산된다.

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x-x_0 \\ y-y_0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} x_0 \\ y_0 \end{pmatrix} \quad (4)$$

본 연구에서는 128구 플러그묘판에서는 45×7 화소의 기준 이미지를, 72구 플러그묘판에서는 70×6 화소의 기준 이미지를 사용하여 잎의 방향을 계산하였다.

### 3. 결과 및 고찰

영상처리 결과값을 실제값과 비교하여 결주 및 불량묘 판별 알고리즘과 잎의 방향 계산 알고리즘의 성능을 평가하였다.

본 연구에서는 플러그묘판의 흑백 이미지를 획득하여 이식 모종에 대한 정보를 얻었으며, 잎의 색깔에 의한 구별이 아닌 밝기에 의한 구별이기 때문에 광원의 밀도를 균일하게 유지하여 특별히 밝은 구역이 나타나지 않도록 하였다.

#### 가. 결주 및 불량묘의 판별

본 연구에서는 결주 이외에 불량묘도 이식작업에서 제외시키기 위하여 결주에 포함시켰다. 결주 판별 성능 실험을 위하여 128구와 72구 각각 6개의 플러그묘판을 영상처리하였다.

72구 플러그묘판의 경우 영상처리 결과가 실제치와 동일한 모종의 비율이 98.8%, 128구의 경우 94.9%였다. 128구의 결과가 72구의 결과에 비하여 정확도가 낮은 이유는 셀과 셀 사이의 간격이 좁고 주위 다른 셀에 있는 모종의 잎이 셀의 경계를 넘어 오는 경우가 많았기 때문이었다. 표 2와 표 3에 각각 72구와 128구의 영상처리 결과를 나타내었다.

Table 2 Results of image processing of the 72-cell plug tray.

72-cell plug trays		Sum	Percent (%)
Correct detection		427	98.84
Wrong detection	Healthy seedling → Empty cell	0	0.00
	Empty cell → Healthy seedling	5	1.16

Table 3 Results of image processing of the 128-cell plug tray.

128-cell plug trays		Sum	Percent (%)
Correct detection		729	94.92
Wrong detection	Healthy seedling → Empty cell	30	3.91
	Empty cell → Healthy seedling	9	1.17

위의 결과에서 로봇 이식기의 성능에 가장 큰 영향을 미치는 경우는 실제로는 결주임에도 불구하고 영상처리 결과 완전묘로 판단된 경우이다. 이때, 로봇 이식기는 결주를 이식하는 자동작을 하게되며, 이식작업 후 플러그묘판에도 여전히 결주로 남아있게 된다.

## 나. 잎의 방향 계산

잎의 방향은 잎의 폭을 고려하여 15도 단위로 계산하였으며, 결주와 불량묘는 계산 대상에서 제외시켰다. 72구와 128구 각각 6개의 플러그묘판을 영상처리하였으며, 계산 결과를 표 4와 표 5에 나타내었다.

Table 4 Results of image processing of the 72-cell plug tray.

72-cell Angle error(°)	Sum	Percent (%)	Accumulated percent (%)
0	196	50.52	50.52
15	167	43.04	93.56
30	19	4.91	98.47
45	2	0.51	98.98
60	2	0.51	99.49
75	2	0.51	100.00
90	0	0.00	100.00

Table 5 Results of image processing of the 128-cell plug tray.

128-cell Angle error(°)	Sum	Percent (%)	Accumulated percent (%)
0	329	48.81	48.81
15	285	42.28	91.09
30	38	5.64	96.73
45	13	1.93	98.66
60	3	0.45	99.11
75	5	0.74	99.85
90	1	0.15	100.00

허용 각도 편차를 15도로 하였을 때, 72구 플러그묘판은 93.5%, 128구 플러그묘판은 91.0%의 정확도를 보였고, 30도로 하였을 때는 72구, 128구 각각 98.4%, 96.7%의 정확도를 보였다. 4.1.1절에서와 마찬가지로 이유로 인하여 72구의 경우가 128구의 경우보다 정확도가 높았다.

## 다. 문제점

영상처리 결과 다음과 같은 문제점을 발견하였다.

첫째, 본 연구에서는 획득된 영상의 밝기로 모종과 플러그묘판을 구별해주는데, 플러그묘판에 반사된 광원이 결주 판단에 오차를 가져왔다. 이 문제는 칼라 이미지를 사용하거나, 플러그묘판의 재질을 바꿈으로서 해결될 수 있을 것으로 판단된다. 그러나, 칼라 이미지를 사용할 경우, 영상처리 시간이 길어지는 단점이 있다.

둘째, 모종이 셀의 가운데서 발아하지 않았거나, 줄기가 휘어져 잎이 주위의 셀의 잎에 겹쳐짐으로서 영상처리에 어려움이 있었다. 이 문제점은 정밀 파종기를 사용하거나, 새로운 알고리즘을 추가하여 해결할 수 있을 것으로 판단된다.



셋째, 반복계산에 따른 영상처리 시간이 길었다. 이 문제점은 고성능의 컴퓨터를 사용하여 해결될 수 있을 것으로 판단된다.

#### 4. 요약 및 결론

본 연구는 육묘용 로봇 이식기의 시각적 정보를 얻기 위한 기계시각 시스템을 개발하기 위하여 수행되었으며, 그결과는 다음과 같다.

1. 결주 및 불량묘 판별은 72구 플러그묘판의 경우 98.8%, 128구의 플러그묘판의 경우 94.9%의 정확도를 보였다.
2. 완전묘 앞의 방향을 계산하는 알고리즘은 72구의 플러그묘판의 경우 93.5%, 128구의 경우 91.0%의 정확도를 보였다.

#### 참고문헌

1. Kim K. D., S. Ozaki and T. Kojima. 1995. Development of an automatic robot system for a vegetable factory. I. Transplanting and raising seedling robot in a nursery room. Proceedings of ARBIP95, Kobe, Japan. vol.1 : 157-163.
2. Maw, B. W., H. L. Brewer, and S. J. Thomson. 1986. Photoelectric transducer for detecting seedlings. Transactions of the ASAE vol. 29(4) : 912-916.
3. Tai, Y. W., P. P. Ling and K. C. Ting. 1994. Machine vision assisted robotic seedling transplanting. Transactions of the ASAE vol. 37(2) : 661-667.
4. Ting, K. C., G. A. Giacomelli, S. J. Shen, and W. P. Kabala. 1990. Robot workcell for transplanting of seedlings. Part II : End-effector development. Transactions of the ASAE vol. 33(3) : 1013-1017.