

육묘용 로봇 이식기의 개발(I)⁺ - 기계시각 시스템 -

Development of a Robotic Transplanter for Bedding Plants(I) - Machine Vision System -

류 관 희*	김 기 영*	이 희 환*	황 호 준*
정회원	정회원		
K. H. Ryu	G. Y. Kim	H. H. Lee	H. J. Hwang

ABSTRACT

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

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

1. 서 론

농촌 노동력의 감소에 따라 개개의 농가에서 자가 육묘하기 보다는 소위 육묘 공장에서 모종을 구매하여 정식하는 농가가 늘어나고 있다. 육묘 공장에서는 고 품질의 모종을 공급하기 위하여 파종과 생육 관리 시스템에 자동화 설비를 운용하고 있으나, 결주 및 불량묘를 완전묘로 보충하기 위하여 많은 노동력이 투하되고 있다. 따라서 결주 및 불량묘를 보

충하기 위한 생력화 설비의 개발이 필요하다.

외국의 경우 Tai 등(1994)이 카메라, 레이저로 구성된 기계 시각 시스템을 이용하여 결주를 찾아내는 알고리즘을 개발하였다. 이 연구에서는 결주를 찾아내기 위해 우선 묘가 있을 때의 밝기 정보와 묘가 없는 빈 셀의 밝기 정보를 파악한 뒤 이를 바탕으로 배경으로부터 묘를 분리할 수 있는 문턱값을 정한다. 그런 다음 조사 대상 셀 중심부의 밝기 정보로부터 잎 존재 지수를 계산하고, 이 값을 위에서 밝혀낸 문

+ 이 논문은 1994년도 한국학술진흥재단의 공모과제 연구비에 의하여 연구되었음

* 서울대학교 농업생명과학대학 농공학과 농업기계전공

턱값과 비교함으로써 결주의 유무를 판단하였다. Ting 등(1990)은 그리퍼에 근접 센서를 부착하여 묘의 유무에 따른 센서의 정전용량 변화로 결주를 인식하였는데, 이식 작업시 그리퍼 안쪽에 부착된 근접 센서의 정전 용량을 미리 정해진 문턱값과 비교하여 묘의 유무를 판단하였다. 하지만 이 방법으로 결주를 찾아낼 때, 묘의 수분 함량에 따라 작업의 정확성이 변하는 결점이 있었다. 그 외에도 Maw 등(1986)이 광센서를 사용하여 결주를 찾아내는 연구를 수행하였고, 국내의 경우 Kim 등(1995)이 그리퍼에 부착한 CCD 카메라를 이용하여 육묘 상자에서 개개의 묘를 하나씩 검사하여 결주와 불량묘를 찾아내고, 완전묘만을 이식하는 로봇에 관한 연구를 수행한 바 있지만 결주를 찾아내는 알고리즘에 관한 자세한 언급이 없었다.

본 연구에서는 육묘 및 보식에 적용하기 위한 기계 시각 시스템을 개발하여 플러그묘의 상태 및 로봇 그리퍼의 작업 위치 데이터를 구축한 다음 이를 이용하여 육묘 및 보식이 원활하게 이루어 질 수 있도록 하였다.

본 연구의 구체적인 목적은 이식할 플러그 묘판에서 결주 및 불량묘가 위치한 셀의 좌표를 찾아내고, 완전묘의 잎의 방향을 계산해 내는 것이다.

2. 재료 및 방법

플러그 묘판의 시각적 정보를 얻기 위해서 카메라(GPKS162HD, Panasonic, Japan), 인터페이스 보드(PC Vision Plus, Image Technology, USA), 광원장치, 영상출력용 흑백모니터(VM-210, 30W) 및 영상처리용 컴퓨터(486DX 66MHz)로서 영상처리 시스템을 구축하였다.

가. 기계시각 시스템 구성

플러그 묘판의 영상을 획득하기 위한 장치로 본 연구에서 사용된 카메라(GP-KS162HD)는 Panasonic사의 산업용 칼라 카메라로서 카메라 헤드라고 불리는 pick-up 장치와 카메라 제어장치로 각각 분리되

어 있다.

카메라에서 획득된 플러그 묘판의 영상신호는 영상처리용 인터페이스 보드를 통해 컴퓨터로 입력된다. 본 실험에서 사용된 영상처리용 인터페이스 보드는 Image Technology사의 흑백 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.

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

주 컴퓨터의 모니터로는 로봇 제어 프로그램의 인터페이스를 보여주는 관계로, 획득된 묘판의 영상 및 처리된 영상은 12인치 흑백 영상 모니터(VM-210, 30W)를 사용하여 출력하였다.

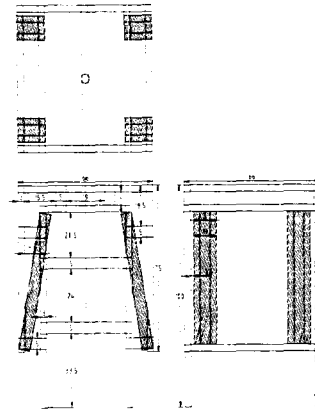


Fig. 1 Shape and dimensions of the light source device.

나. 모종 인식 알고리즘

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

1) 저역통과 필터(Low pass filter)

저역통과 필터는 카메라로 획득한 영상의 인접 화소(pixel) 간의 밝기가(gray level) 급격히 변하는 경우

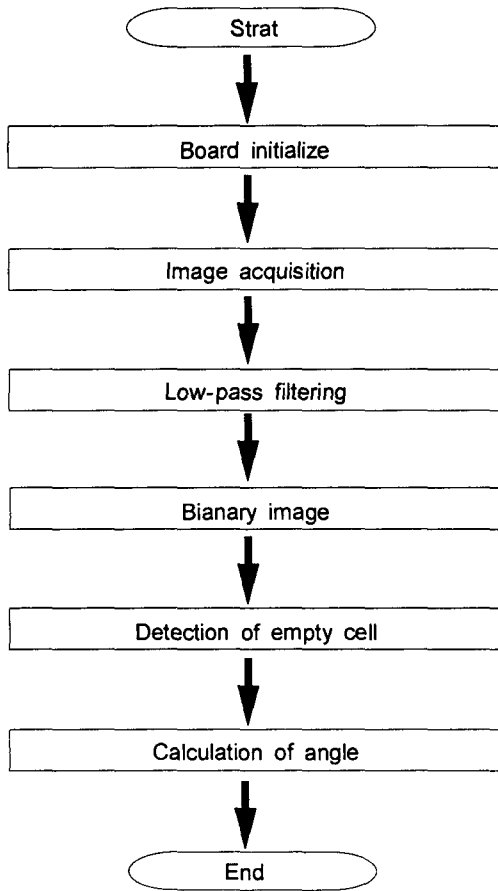


Fig. 2 Flow chart of the image processing.

잡음으로 판단하고, 주위 화소간의 밝기 평균값을 구하여 잡음을 줄일 수 있도록 해준다.

모종의 잎에 대한 영상을 획득하면, 잎 표면이 거칠기 때문에 조명의 반사특성이 달라져 잎 표면의 밝기가 다르게 나타나는데 이로 인하여 결주 판단과 잎의 방향 계산에 오차가 발생한다. 이런 오차를 줄이기 위하여 획득한 영상을 저역통과 필터에 통과시켜 주위와 큰 밝기차를 나타내는 부위를 제거하였다. 저역통과 필터링은 3 × 3 가중치 set을 구성하는 마스크를 전체 이미지에 적용시켜 이 마스크의 아래에 있는 중심 화소의 밝기를 조정하는 방법으로 수행하였다. 저역통과 필터링을 위해 사용한 3 × 3 마스크는 아래와 같다.

1/9	1/9	1/9
1/9	1/9	1/9
1/9	1/9	1/9

..... (1)

잎 영상의 어떤 점에서 위의 마스크에 대한 응답은 다음 식으로 계산하였다.

$$R = \sum_{i=1}^9 \frac{1}{9} z_i \dots\dots\dots (2)$$

여기서 z_i 는 저역통과 필터 마스크 아래에 놓인 화소들의 밝기를 나타낸다.

2) 이치화(二値化)

획득한 영상에서 잎과 상토를 구분해 주기 위하여 이치화 작업을 수행하였다. 잎과 상토를 정확히 구분해 주기 위하여 영상의 이치화 작업을 하기전에 다음과 같은 전처리 과정을 수행하였다.

묘판 영상이 전체적으로 어두워서 각 화소의 회색강도값에 일정한 값을 더하여 영상을 밝게 하였다.

묘판 영상의 히스토그램 분석 결과 밝기 정보가 어두운 부분에 집중되어 있어, 필요한 정보만을 얻기 위하여 영상에 히스토그램 스트레칭 작업을 적용하였다. 히스토그램 스트레칭은 화소의 회색강도값에 일정한 값을 곱하여 수행하였다.

$$New\ Level = Level \times Stretching\ Factor \dots\dots\dots (3)$$

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

여기서, Stretching Factor : 72구인 경우 2.8, 128구인 경우 4.0

묘판 영상의 전처리 과정이 끝난뒤 문턱값 설정(thresholding)으로 화소의 회색강도값을 일정한 문턱값에 따라 0과 1로 이치화하였다.

if $Level > Threshold$ then $Level = 1$ (4)
else $Level = 0$

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) 원시영상과 영상처리후 영상(raw image & processed image)

그림 3과 4에 아무 처리도 거치지 않은 원래의 영상으로 카메라에서 획득된 뒤 프레임그래버의 메모리에 각각을 저장된다. 그 후 저장된 회색강도를 파일형태로 만든 다음 컴퓨터 모니터를 통해서 각화소의 위치정보와 회색강도정보를 지정된 컴퓨터 모니터 그래픽 좌표(640x480)에 표시해 줌으로써 영상을 출력하였다. 그림 5와 6는 저역통과 필터를 가한 뒤의 영상으로서 잡음이 제거된 것을 알 수 있다. 그림 7과 8에는 이치화를 거쳐 일과 상토가 명확히 구분된 영상을 각각 나타내었다.

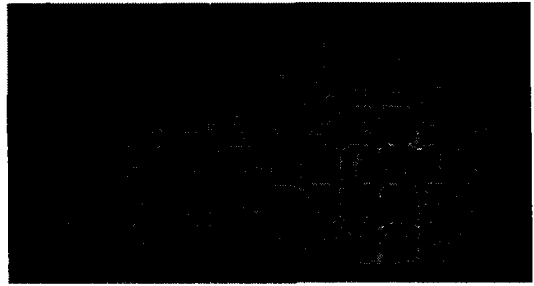


Fig. 5 Low-pass filtered image of the 72-cell plug tray.

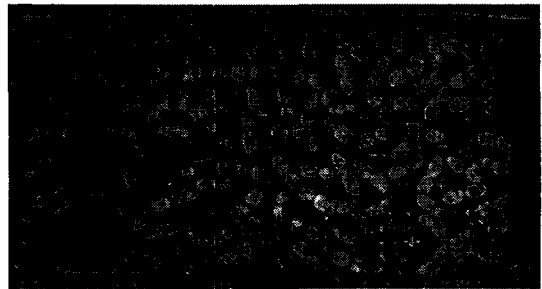


Fig. 6 Low-pass filtered image of the 128-cell plug tray.

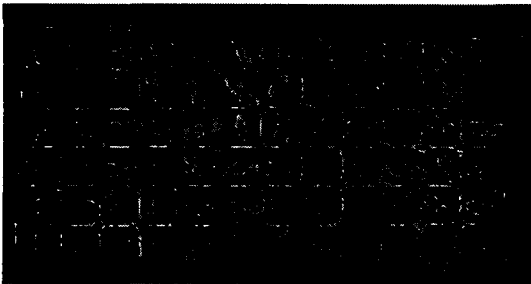


Fig. 3 Real image of the 72-cell plug tray.

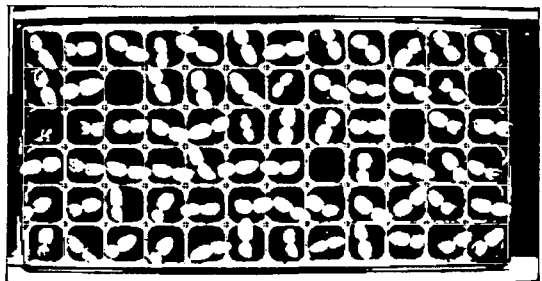


Fig. 7 Binary image of the 72-cell plug tray.



Fig. 4 Real image of the 128-cell plug tray.

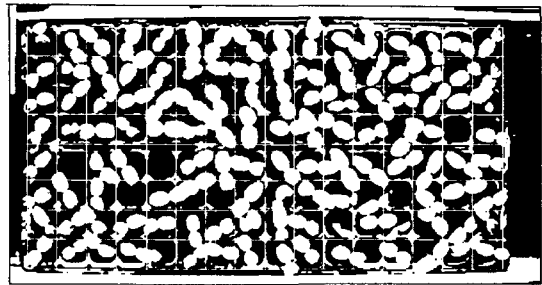


Fig. 8 Binary image of the 128-cell plug tray.

3) 잎의 존재 유무 탐색

플러그 묘판의 각 셀에 해당하는 이치화된 영상에서 밝기값이 1로 설정되어 있는 화소의 수를 계산하여 판별한다. 128구 플러그 묘판에서는 16×8 개의 셀이 존재하므로 512×512 의 화면에 나타나는 1개의 셀은 최대 $(512 \div 16)^2 = 32^2 = 1,024$ 개의 화소를 가질 수 있으며, 72구 플러그 묘판에서는 12×6 개의 셀이 존재하므로 512×512 의 화면에 나타나는 1개의 셀은 최대 $(512 \div 12)^2 = 42.7^2 = 1,820.4$ 개의 화소를 가질 수 있다. 결주 및 불량묘의 판정 기준값은 획득한 영상의 각 셀마다 밝기값이 1로 설정된 화소 수를 계산하여 잎이 존재할 때의 최소 화소 수와 결주일 때의 최대 화소 수를 평균하여 구하였다. 결주 및 불량묘는 위에서 구한 판정 기준화소수와 각 셀마다 밝기값 1을 갖는 화소수를 비교하여 판별하였다.

4) 잎의 방향 계산

잎의 존재 유무 탐색에서 그 셀이 결주로 판별되면 잎의 방향 계산을 생략하여 영상처리 시간을 단

축시켰다. 잎의 각도는 주축을 찾고 그로부터 각도를 계산하므로써 구할 수 있으나, 주축을 계산하는데 시간이 많이 소요되므로 이 연구에서는 아래와 같이 몇몇 기본 각도에 대한 기준 패턴을 설정하고 이 패턴과 잎을 매치 시켜 잎의 각도를 구하였다. 잎의 방향은 기준 이미지를 회전시켜 가며 획득한 셀의 이미지와 OR 연산을 수행하여, 서로 일치하는 정도를 계산하고, 오차가 제일 작은 값을 찾으므로써 계산하였다. 그림 9에 셀 하나에 대해서 임시 메모리에 저장되는 잎의 이미지를 나타내었다.

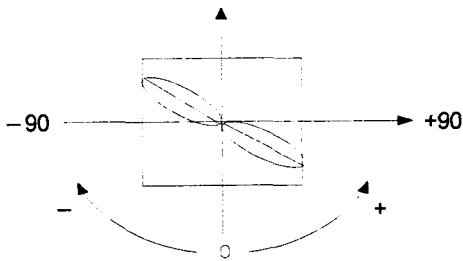
그림 9에서 (a)는 잎의 방향 계산에 대한 기준을 나타내는 그림이고, (b)는 방향이 45도일 때 화소의 상태를 나타내는 그림이며, (c)는 메모리에 저장된 모습을 보여주는 그림이다.

셀의 이미지와 비교할 기준 이미지의 잎모양을 다음과 같은 가정하에 결정하였고, 이를 그림 10에 나타내었다.

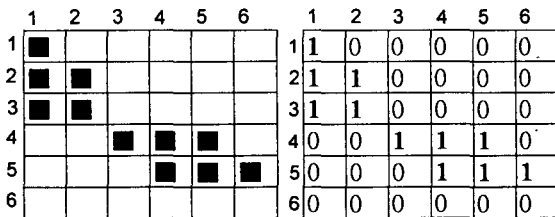
가정 1. 각각의 셀간에 잎이 서로 겹쳐져 간섭이 일어나므로 기준 이미지의 잎의 형태에 따른 결과에는 현격한 차이가 없다.

가정 2. 상호 간섭이 일어나더라도 잎의 길이 방향으로 가장 많이 '1'의 값이 분포 한다.

그림 10에서 (a)는 잎이 셀의 중심에 있을 때의 기준 이미지이고, (b)는 셀의 한 쪽에 치우쳐 있을 때의 기준 이미지이다.



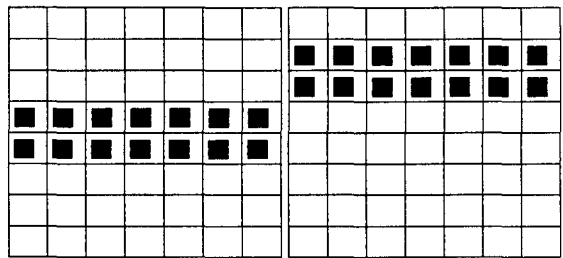
[a]



[b]

[c]

Fig. 9 Sample leaf image.



[a]

[b]

Fig. 10 Standard cell image for comparison.

기준 이미지의 회전은 식 (5)에 의해 계산된다.

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

..... (5)

본 연구에서는 128구 플러그묘판에서는 45 × 7 화소의 기준 이미지를, 72구 플러그 묘판에서는 70 × 6 화소의 기준 이미지를 사용하여 잎의 방향을 계산하였다. 이들 기준이미지의 크기는 실제 영상에서 잡은 잎의 크기 및 회전을 하면서 대각선 방향에서의 기준이미지가 너무 작지 않도록 하기 위해 대각선의 크기를 기준으로 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

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

본 연구에서는 플러그 묘판의 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 플러그 묘판을 영상 처리하였다.

72구 플러그 묘판의 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 1과 표 2에 각각 72구와 128구의 영상처리 결과를 나타내었다.

Table 1 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 2 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	5	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 오동작을 하게 되며, 이식작업 후 플러그 묘판에도 여전히 결주로 남아있게 된다.

나. 잎의 방향 계산

잎의 방향은 잎의 폭을 고려하여 15도 단위로 계산 하였으며, 결주와 불량묘는 계산 대상에서 제외시켰다. 72구와 128구 각각 6개의 플러그 묘판을 영상처리 하였으며, 계산 결과를 표 3과 표 4에 나타내었다.

허용 각도 편차를 15도로 하였을 때, 72구 플러그 묘판은 93.5%, 128구 플러그 묘판은 91.0%의 정확도를 보였고, 30도로 하였을 때는 72구, 128구 각각

98.4%, 96.7%의 정확도를 보였다. 잎의 방향을 고려하지 않은 경우와 마찬가지로 이유로 인하여 72구의 경우가 128구의 경우보다 정확도가 높았다.

Table 3 Results of image processing of the 72-cell plug tray considering leaf direction.

leaf direction error (°)	72-cell	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 4 Results of image processing of the 128-cell plug tray, considering leaf direction.

leaf direction error (°)	128-cell	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

다. 제언

영상처리 결과 다음과 같은 어려운 점들을 발견하였으며 가능한 해결책은 다음과 같다.

첫째, 본 연구에서는 획득된 영상의 밝기로 모종과 플러그 묘판을 구별해 주는데, 플러그 묘판에 반사된 광원이 결주 판단에 오차를 가져왔다. 이 문제는 칼라 이미지를 사용하거나, 편과필터의 사용, 또는 플러그 묘판의 재질을 바꿈으로서 해결될 수 있을 것으로 판단된다. 칼라 이미지를 사용할 경우, 영상처리 시간이 길어질 수 있으므로 효율적인 영상처리 알고리즘을 함께 사용할 필요가 있다.

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

셋째, 반복계산에 따른 영상처리 시간이 길었다. 이 문제점은 고성능의 컴퓨터를 사용하거나, 영상처리 알고리즘을 더욱 개선하여 해결할 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 플러그 묘판의 경우 98.8%, 128구의 플러그 묘판의 경우 94.9%의 정확도를 보였다.
2. 완전묘 잎의 방향을 계산하는 알고리즘은 72구의 플러그 묘판의 경우 93.5%, 128구의 경우 91.0%의 정확도를 보였다.

참 고 문 헌

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 ARBIP 95, 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.
3. Tai, Y. W., P. P. Ling and K. C. Ting. 1994.