生物生産施設環境(J. Bio. Fac. Env.) 6(1) : 55~65, 1997

기계시각을 이용한 육묘용 로봇 이식기의 개발[1)]

류관희 · 김기영 · 이희환 · 한재성 · 황호준
서울대학교 농업생명과학대학 농공학과 농업기계전공

Development of a Robotic Transplanter Using Machine Vision for Bedding Plants

Ryu, Kwan Hee · Kim, Gi Young · Lee, Hee Hwan · Han, Jae Seong · Hwang, Ho Jun
Dept. of Agr. Eng., Seoul National Univ., Suwon 441-744, Korea

Abstract

This study was conducted to develop a robotic transplanter for bedding plants. The robotic transplanter consisted of machine vision system, manipulator attached with the specially designed gripper, and plug tray transfer system.

Results of this study were as follows.

1. A machine vision system for a robotic transplanter was developed. The success rates of detecting empty cells and bad seedlings in 72-cell and 128-cell plug-trays for cucumber seedlings were 98.8% and 94.9% respectively. The success rates of identifying leaf orientation for 72-cell and 128-cell plug-trays were 93.5% and 91.0%, respectively.

2. A cartesian coordinate manipulator for a robotic transplanter with 3 degrees of freedom was constructed. The accuracy of position control was ±1 mm.

3. The robotic transplanter was tested with a shovel-type finger. Without considering leaf orientation, the success rates of transplanting healthy cucumber seedlings for 72-cell and 128-cell plug-trays were 95.5% and 94.5%, respectively. Considering leaf orientation, the success rates of transplanting healthy cucumber seedling in 72-cell and 128-cell plug-trays were 96.0% and 95.0%, respectively.

주 제 어 : 로봇 이식기, 기계시각 시스템, 머니퓰레이터, 그리퍼, 이송장치
Key Words : robotic transplanter, machine vision system, manipulator, gripper, transfer system

서 언

시설재배 산업의 발전 방향이 파종, 육묘, 이식, 재배, 수확, 선별 및 포장, 출하에 이르기까지의 모든 작업이 공장생산 체제로 이루어지는 식물공장임을 감안할 때, 시설재배시

[1)] 이 논문은 1994년도 한국학술진흥재단의 공모과제 연구비에 의하여 연구되었음.

노동력의 부족을 해소하기 위한 기계화 및 자동화가 필요하다. 특히 우리 나라의 엽채류 및 과채류 시설재배 작업체계에서 인력 의존도가 가장 높은 것은 이식과 수확작업이며, 농촌 노동력의 급격한 감소에 따라 인력난 해소를 위하여 개개의 농가에서는 자가육묘하기보다는 육묘공장에서 모종을 구매하여 정식하는 추세이며, 이에 따라 모종을 공급해 주기 위한 육묘공장이 늘어나고 있다.

육묘공장에서의 온실 면적을 최대한 이용하는 동시에 에너지를 절약하기 위해서는 플러그묘판에 파종한 후 1~3회 정도 다른 모판으로 포트이식하는 것이 바람직하다. 그러나, 포트이식을 수작업에 의존하여야 되기 때문에, 포트이식을 하지 않고 육묘하는 것이 일반적이다. 이에 따른 해결책으로써 포트이식의 기계화가 절실히 요구되고 있다. 그러나, 이식작업은 작업대상이 어린 모종이라는 점에서 섬세한 취급작업이 필요하고, 일반 공장의 작업과는 달리 모종의 생육상태가 균일하지 않아 각각에 대하여 작업상태를 고려하여야 한다.

로봇을 이용한 포트이식시스템의 개발은 시설재배의 장점인 연중재배에 필요한 모종을 생산하는 육묘공장이나 대단위 시설재배농가의 육묘생산시 노동력을 감소시키고, 포트이식작업의 자동화를 통하여 시설재배의 식물공장화라는 큰 목표에 한걸음 더 다가갈 수 있으리라 판단된다.

최근들어 몇몇 연구자들에 의해 시설재배에 적용하기 위한 플러그묘의 로봇 포트이식에 대한 연구가 수행되어 왔다. Hwang과 Sistler[1]는 실험실 수준의 로봇을 기존의 채소이식기에 부착하여 플러그묘의 노지 정식에 관한 연구를 처음으로 수행하였다.

Kutz 등[3]은 육묘 묘판과 재배 묘판의 공급배열 형태에 따른 이식 로봇의 CAD 시뮬레이션을 수행하였고, 이를 검증하기 위하여 Puma 560로봇으로 이식실험을 수행하였다. 이들은 parallel-jaw 모양의 그리퍼의 운동이 육묘 묘판에서 재배 묘판으로 이식하는데 적절하다고 보고하였으며, 이식작업은 정확하나 능률이 낮아 수작업에 의한 이식에 비하여 비용이 많이 든다고 보고하였다.

Ting 등[6,7]은 Adept-I SCARA 로봇을 이용하여 공급되는 플러그묘판의 배열에 따라 로봇과 그리퍼의 운동궤도에 대한 연구를 수행하였다. 또한 다양한 셀 크기의 플러그묘판에 적용할 수 있는, 공압으로 구동되는 니들(niddle)을 이용한 두 개의 그리퍼를 설계, 제작하여 실험한 결과를 보고하였다. Tai 등[5]은 카메라, 레이저 및 광섬유를 갖춘 기계시각 장치를 이용하여 결주를 찾아내는 알고리즘을 개발하였다. 여기서 레이저는 토양배지 표면의 높이를 측정하기 위해서 사용되었고, 영상처리 결과로 결주의 3차원 좌표를 찾아내는 연구를 수행하였다.

Sakaue[4]는 로봇이 레일 위를 움직이면서 광섬유 센서를 이용해 결주나 불량묘를 찾아내어 전기 진공청소기를 이용, 흡인하여 제거하는 연구를 수행하였고, 묘판의 배열, 이송 및 적재작업을 하는 로봇시스템에 관한 연구를 수행한 바 있다.

국내의 연구로는 Kim 등[2]이 랙과 피니언을 이용한 그리퍼와, 그리퍼에 부착된 CCD 카메라로 이루어진 로봇 이식기를 개발하였다. 이 이식기는 트레이에서 각각의 셀을 하나씩 검사하여 결주와 불량묘를 찾아내고, 완전묘만을 이식하도록 되어있으나 이식작업시 잎에 상해를 방지하기 위한 고려는 하지 않았다.

본 연구는 육묘공장과 대규모 시설재배 농가의 포트이식작업을 자동화하기 위해 결주와 불량묘를 제외한 완전묘만을 이식하기 위한 로봇 포트이식기를 개발하는 것을 목표로 하고 있으며 그 구체적인 목적은 다음과 같다.

1. 포트이식작업시 대상 작물에 상해를 입히지 않는 플러그묘 이식 그리퍼를 설계, 제작한다.
2. 결주와 불량묘를 인식하여 이식작업시 제외시키는 기계시각 시스템을 개발한다.
3. 육묘용 로봇 이식기에 적절한 머니퓰레이터기구부와 제어부를 설계, 제작한다.
4. 이식 실험을 통하여 개발한 로봇 이식기의 성능을 검증한다.

재료 및 방법

1. 기계시각 시스템

1.1 기계시각 시스템 구성

본 연구에서는 플러그묘판의 영상을 획득하기 위하여 산업용 칼라 카메라(GP-KS162CUD, Panasonic, 일본)를 사용하였다.

카메라에서 획득된 플러그묘판의 영상신호는 영상처리용 인터페이스 보드를 통해 컴퓨터로 입력된다. 본 연구에 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.

영상 출력용으로 12인치 흑백 영상 모니터(VM-210, 30W)를 사용하였으며, 광원으로 20W 형광등 4개를 사용하였다.

1.2 결주 및 불량묘 판별 알고리즘

그림 1은 결주 및 불량묘를 판별하기 위한 전반적인 영상처리과정을 나타낸 것이다.

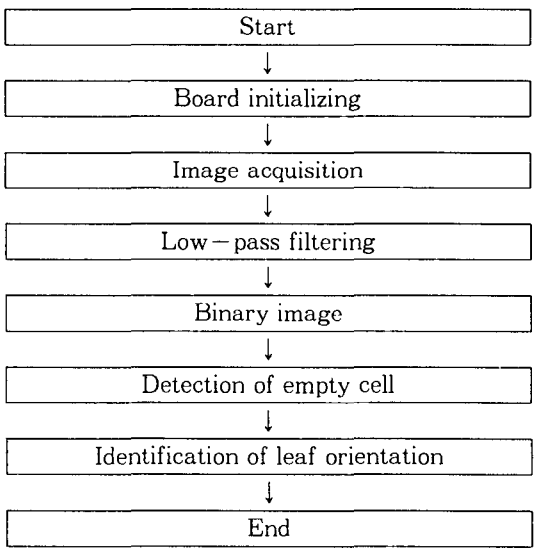


Fig. 1. Flow chart of the image processing algorithm.

카메라로부터 얻어진 잎의 영상에서 먼저 저역통과 필터를 사용하여 잎 표면의 거칠기 때문에 잎 표면에 나타나는 조명에 의한 그림자를 없애준다. 이 과정이 없으면 잎의 그림자는 영상에서 잡음(noise)으로 나타나서 결주 판단과 잎의 방향 계산에 오차가 발생한다.

다음 단계로 획득한 영상에서 잎과 상토를 구분하기 위하여 이치화 단계를 거친다. 이 과정에서는 우선 영상을 밝게 하고(brightening), 두 번째로 획득한 영상에서 필요한 정보만을 얻기 위하여 화소의 회색강도 값에 일정한 값을 곱하여 밝기 정도를 스트레칭(stretching)하고 마지막으로 화소의 회색강도 값을 일정한 문턱값에 따라 0과 1로 이치화하는 문턱값 설정(thresholding)을 한다.

잎의 영상정보가 이치화되면 잎의 존재 유무를 탐색한다. 결주 및 불량묘의 판정 기준값은 획득한 영상의 각 셀마다 화소 수를 계산하여 잎이 존재할 때의 최소 화소 수와 결주일 때의 최대 화소 수를 평균하여 그 수치를 이용하여 잎의 유무를 탐색한다.

마지막으로, 영상정보로부터 잎의 기준위치에서의 회전방향이 구해진다. 잎의 회전방향은 비교할 기준 영상을 결정하여 이 기준 영상을 회전시켜 획득한 셀의 영상과 OR 연산을 수행하여, 서로 일치하는 정도를 계산하고, 오차가 제일 작은 값을 잎의 방향으로 계산하였다.

2. 머니퓰레이터

이식이나 보식을 목적으로 하는 경우는 규격화된 육묘트레이를 사용하기 때문에 직교좌표형과 수평 다관절형 로봇이 적합하며, 본 연구에서는 위치 제어와 가격면에서 유리한 X, Y, Z축으로 구성된 3 자유도의 직교좌표형 로봇을 선정하였다.

2.1 머니퓰레이터의 설계 및 제작

머니퓰레이터 각축의 행정(stroke)을 결정하기 위하여 먼저 필요한 작업영역을 설정해야 한다. 로봇 이식기의 작업영역을 설정하기 위하여 작업대상인 플러그묘판의 외형 치수를

측정하였으며, 현재 국내에서 사용되는 플러그묘판의 종류가 다양해 이를 모두 수용할 수 있도록 작업영역에 여유를 두었다.

필요한 작업영역에 알맞은 머니퓰레이터의 구동원으로 일본 일정공업주식회사의 S-series slide-bed를 선정하였으며, 각 축의 지지부로는 FA 알루미늄을, 연결부로는 알루미늄 블럭을 재료로 가공한 부품을 사용하였다. 그리고, 각 축의 구동시 발생하는 관성에 의한 진동을 감소시키기 위해서 직선운동 안내장치를 X축과 Y축에 각각 2개와 1개를 부착하였고, 오차에 따른 기계적 충격을 완화시켜주기 위하여 Y축의 양 끝에 완충기를 부착하였다.

2.2 제어장치의 개발

머니퓰레이터의 구동을 위해서는 직선운동 slide-bed의 드라이버를 구동시킬 제어기가 필요하다. 제어기는 컴퓨터의 제어신호들을 각 드라이버에 입력시켜 직선운동 slide-bed를 구동시키는 역할을 하며, 이에 따른 모터의 상태를 컴퓨터에 피드백시켜 제어용 소프트웨어가 참조할 수 있도록 해준다. 컴퓨터와 제어기 및 드라이버의 시스템 구성을 그림 2에 나타내었다.

영상처리 결과를 이용해 주제어용 컴퓨터에서 머니퓰레이터의 X, Y축이 이동할 거리 및 속도를 계산하고 이를 제어기에 전송한다. Z축은 일정한 두점 사이를 설정된 속도로 왕복운동을 하므로 제어기에서 구동시작 신호만 드라이버에 전송해주면 된다.

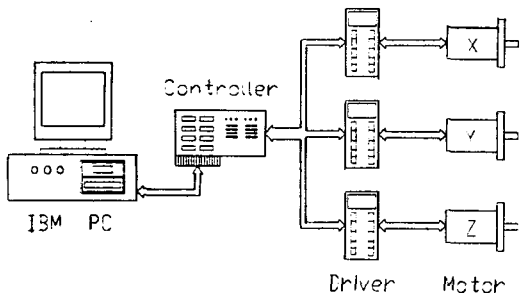


Fig. 2. Block diagram of the developed manipulator driving unit.

머니퓰레이터의 제어는 이식 시간의 단축을 위해서 X축과 Y축의 동시 구동을 목표로 하였다. 영상처리 결과로 얻어진 데이터로부터 각 축의 이동거리를 계산하고, 최대 이동 속도를 기준으로 각 축의 이동 속도를 결정하였다.

3. 그리퍼

3.1 그리퍼의 설계 및 제작

이식작업을 성공적으로 수행하기 위해서는 모종을 집어서 이식하는 그리퍼의 성능이 매우 중요하다.

본 연구에서 설정한 설계기준은 다음과 같다.

① 작업 대상 작물에 손상을 입히지 말아야 한다.

② 이식작업시 모종의 뿌리 보호를 위해 상토의 원형을 유지시켜야 한다.

③ 이식할 모를 플러그묘판으로부터 확실히 집어내야 한다.

④ 머니퓰레이터가 이동하는 동안 집어든 모종을 떨어뜨려서는 안된다.

⑤ 이식될 플러그묘판에 모종을 정확히 심어야 한다.

⑥ 이식후 상토의 원형을 유지시키는 상태에서 그리퍼가 상토로부터 빠져 나와야 한다.

⑦ 구조가 비교적 간단하고, 작업시 변형이 없어야 한다.

⑧ 다습한 환경에서 사용하기 때문에 내부식성을 보유해야 한다.

본 연구에서는 이식방법에 따라 그리퍼의 작업궤적이 달라지도록 하였는데 이식방법은 다음과 같다.

① 잎의 방향을 고려하지 않는 이식방법

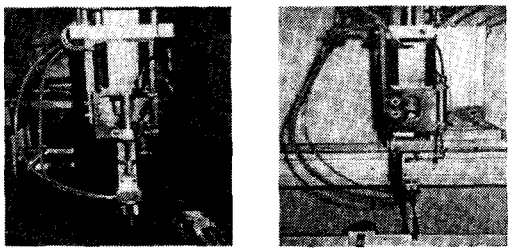
② 잎의 방향을 고려한 이식방법

그리퍼는 이식될 모종의 바로 위에서 작업하게 되는데, 이때 그리퍼가 잎을 피해 작업할 수 있도록 회전해야 한다. 영상처리 결과로 얻어지는 데이터에는 잎의 방향이 포함되며, 잎의 방향에 따른 그리퍼의 회전운동을 위해서 스테핑 모터를 사용하였다. 그리퍼가

모종의 상토를 잡을 수 있도록 하기 위하여 그리퍼를 상토에 찔러주는 구동원으로는 공압 실린더(air cylinder)를, 상토를 집는 구동원으로는 공압 척(air chuck)을 사용하였다.

본 연구에서는 끝이 삽(shovel type) 모양으로 된 그리퍼를 제작하여 실험하였다.

그리퍼는 머니퓰레이터의 Z축 하단에 부착할 수 있도록 몸체를 설계하였고, 공압 실린더와 공압 척에 공기를 공급해 주기 위한 공압 호스를 고정할 수 있도록 하였다. 그리고, 이식작업시 공압 실린더 로드의 회전을 방지하고 운동 방향을 안내할 수 있도록 직선운동 가이드를 사용하였으며, 스테핑 모터의 회전부에 커플링과 베어링을 사용하였다. 각 기계요소들의 재질은 그리퍼의 무게를 줄이기 위하여 알루미늄을 사용하여 제작하였으며, 제작된 그리퍼의 외형을 그림 3에 나타내었다.



(a) front view (b) side view

Fig. 3 Developed gripper.

4. 육묘판 이송장치

육묘판 이송장치는 로봇 이식기에 작업 대상인 플러그묘판을 공급해 주는 장치로서 이식작업의 연속성을 위해 필요하다.

이식할 육묘판과 이식될 육묘판의 공급을 위해 2대의 컨베이어를 사용하였고, 육묘판의 크기에 따라 그 크기를 결정하였다. 선정된 컨베이어는 오성공업사의 표준형으로 길이는 4m, 폭은 30cm, 이송 속도는 1~50m/min이다.

묘판은 멈추개(stopper)에 의해 일정한 작업공간에 위치하게 되는데 이 멈추개의 작동시간을 결정하기 위하여 육묘판의 유무를 검출하는 광센서를 사용하였다. 본 연구에서 사용한 광센서는 작업 조건, 설치 조건, 응답 속도 등을 고려하여 일본 Takenaka사의 NE—T10RD 제품을 사용하였다. 선정된 광센서는 컨베이어의 측면에 이송되는 플러그묘판의 높이를 고려하여 그림 4와 같이 부착하였다.

멈추개는 플러그묘판의 외형치수를 기준으로 설계, 제작하였으며 구동원으로 공압 실린더를 사용하였다. 제작된 멈추개의 부착을 그림 5에 나타내었다.

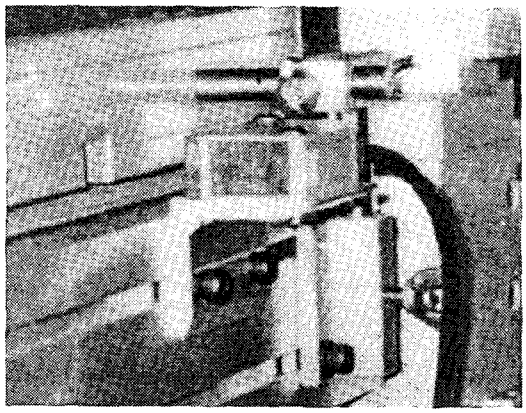


Fig. 4. Photograph of the photosensor installed.

Fig. 5. Photograph of the stopper installed.

컨베이어, 광센서, 멈추개로 육묘판 이송장치를 제작하였으며, 외형과 주요 치수를 그림 6에 나타내었다.

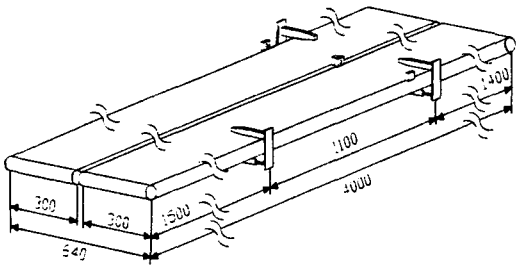


Fig. 6. Shape and dimensions of the plug-tray transfer device.

컨베이어 모터를 구동시키기 위하여 제어기를 구성하였다. 실험을 위하여 이송속도 조절이 가능하도록 하였으며, 컴퓨터의 신호를 이용하기 위하여 SSR을 사용하였다.

5. 육묘용 로봇 이식기 시스템

앞에서 설계, 제작한 기계시각 시스템, 그리퍼, 머니퓰레이터 및 육묘판 이송장치를 결합하여 다음 그림 7과 같이 육묘용 로봇 이식기를 구성하였다.

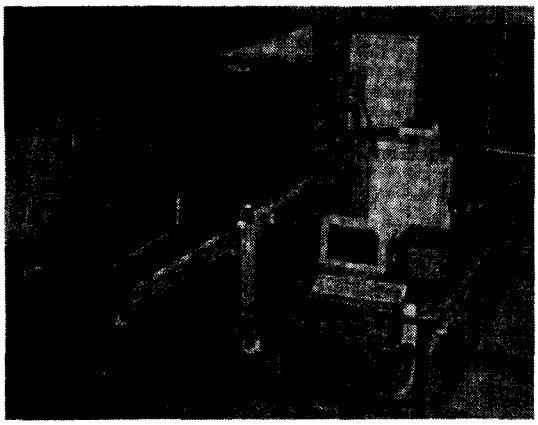


Fig. 7. Photograph of the developed robotic transplanter.

각 구성 요소들을 통합제어하여 구동하기 위하여 육묘용 로봇 이식기의 제어기를 개발하였으며, 모든 제어는 주제어 컴퓨터에 의해 이루어지도록 하였다. 구성 요소들을 구동시키기 위하여 통합 제어 소프트웨어를 개발하였고, 개발된 소프트웨어의 화면표시를 그림 8에 나타내었다.

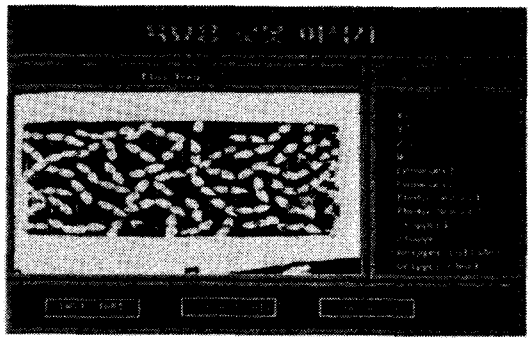


Fig. 8. CRT display of the integrated control software for the robotic transplanter.

결과 및 고찰

성능 평가 실험을 위하여 오이를 실험 작물로 선정하였는데, 그 이유는 파종 후 이식작업이 가능한 상태까지 생장하는데 걸리는 시간이 비교적 짧기 때문이다. 실험을 위해서 오이를 128공과 72공의 플러그묘판에 피트모스를 사용하여 파종하였고, 서울대학교 부속농장의 벤로(venlo)형 유리 온실에서 키웠다. 적절한 이식시기를 알아내기 위하여 국내의 육묘공장에 문의하였으며, 파종 후 16일이 지난 오이묘를 사용하여 이식실험을 실시하였다.

1. 기계시각

영상처리 결과값을 측정한 값과 비교하여 결주 및 불량묘 판별 알고리즘과 잎의 방향

계산 알고리즘으로 작성된 소프트웨어의 성능을 평가하였다.

본 연구에서는 플러그묘판의 영상을 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.

1.1 결주 및 불량묘의 판별

본 연구에서는 결주 이외의 불량묘도 이식작업에서 제외시키기 위하여 결주에 포함시켰다. 결주 판별 성능 실험을 위하여 128공과 72공 각각 6개씩의 플러그묘판을 영상처리하였다.

72공 플러그묘판의 경우 영상처리 결과가 육안식별과 동일한 모종의 비율이 98.8%, 128공의 경우 94.9%였다. 128공의 결과가 72공의 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 2는 72공과 128공의 플러그묘판에 대하여 영상처리 알고리즘을 이용한 육묘상태 인식결과를 각각 나타낸 것이다.

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

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 플러그묘판에도 여전히 결주로 남아있게 된다.

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	9	1.17

1.2 잎의 방향 계산

잎의 방향은 잎의 폭을 고려하여 15도 단위로 계산하였으며, 결주와 불량묘는 계산 대상에서 제외시켰다. 72공과 128공 각각 6개의 플러그묘판을 영상처리하였으며, 계산 결과를 표 3과 표 4에 나타내었다.

Table 3. 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

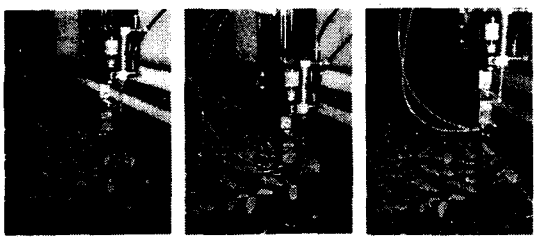
허용 각도 편차를 15도로 하였을 때, 72공 플러그묘판은 93.5%, 128공 플러그묘판은 91.0%의 정확도를 보였고, 30도로 하였을 때는 72공, 128공 각각 98.4%, 96.7%의 정확도를 보였다.

Table 4. 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

2. 그리퍼

그리퍼의 자체 성능 평가를 위하여 결주가 없는 플러그묘판을 사용하였으며, 그리퍼의 이식작업중 128공의 플러그묘판에서 모종을 집어내는 모습을 그림 9에 차례로 나타내었다.



(a) (b) (c)

Fig. 9. Photograph of gripper operation.

그림 9의 (a)는 공압 실린더를 사용하여 그리퍼를 모종의 상토에 찔러주는 모습이고, (b)는 공압 척을 사용하여 그리퍼로 상토를 잡아주는 모습이며, (c)는 모종을 집어서 뽑는 작업 모습이다.

2.1 잎의 방향을 고려하지 않은 이식

잎의 방향을 고려하지 않고 삽 모양의 그리퍼를 이용하여 50개의 모종을 대상으로 실험하였으며, 결주가 없는 플러그묘판을 사용하였기 때문에 영상처리는 수행하지 않았다. 표 5는 72공 및 128공에 대한 실험결과를 나타낸 것이다.

Table 5. Results of the gripper tests without considering leaf orientation with 50 seedlings for the 72-cell and 128-cell plug tray.

Tray / Performance	72-Cell tray		128-Cell tray	
	Cell	Sum	Cell	Sum
Seedlings failed to isolate from cell	1	2	1	1
Seedlings missed during moving	0		0	
Seedlings failed to plant	1		0	
Seedlings damaged	0		0	
Seedlings planted successfully	48		49	

2.2 잎의 방향을 고려한 이식

삽 모양의 그리퍼를 이용하여 50개의 모종을 대상으로 실험하였으며, 영상처리 결과로 계산된 잎의 방향에 따라 그리퍼를 회전시켜 잎을 피해 작업하도록 하였다. 72공 및 128공의 실험결과를 표 6에 나타내었다.

3. 로봇 이식기의 성능

설계, 제작된 머니퓰레이터의 구동 정밀도가 포트이식에 적합한지를 검토하기 위하여 위치 정확도에 대한 실험을 수행하였다. 작업영역안에 임의의 이동 좌표를 설정하여 20회의 반복 이동을 수행하고 최대 위치 오차를 측정한 결과 오차의 범위는 ±1.0mm였다. 플러그묘판 셀의 크기를 고려할 때, 그리퍼가

Table 6. Results of the gripper tests considering leaf orientation with 50 seedlings for the 72-cell and 128-cell plug tray.

Tray / Performance	72-Cell tray		128-Cell tray	
	Cell	Sum	Cell	Sum
Seedlings failed to isolate from cell	1	1	0	0
Seedlings missed during moving	0		0	
Seedlings failed to plant	0		0	
Seedlings damaged	0		0	
Seedlings planted successfully	49		50	

셀의 중앙으로부터 ±3.0mm의 위치 오차내에서 이식작업을 수행해야 하므로 설계, 제작한 머니퓰레이터는 이식작업을 수행하는데 충분한 것으로 판단되었다.

72공과 128공의 플러그묘판을 50공의 플러그묘판에 각각 200개의 모종을 영상처리결과에 따라 이식작업을 수행하였다.

3.1 잎의 방향을 고려하지 않은 이식

72공 플러그묘판에 대한 결과를 표 7에, 128공 플러그묘판에 대한 결과를 표 8에 나타내었다.

실험결과 잎의 방향을 고려하지 않은 경우, 그리퍼의 작동에 의해 손상을 입은 모종이 나타났다. 그리고, 표의 이식 시간은 최초의 플러그묘판 하나를 이식하는데 소요되는 시간(영상처리 시간 포함)을 플러그묘판의 셀수로 나누어준 값이다.

3.2 잎의 방향을 고려한 이식

72공 플러그묘판에 대한 결과를 표 9에 128공 플러그묘판에 대한 결과를 표 10에 나타내었다.

Table 7. Performance of the robotic transplanter with 200 seedlings for the 72-cell plug tray(not considering leaf orientation).

Item		No. of cell	Sum
Seedlings failed to isolate from cell		4	9
Seedlings missed during moving		1	
Seedlings failed to plant		2	
Seedlings damaged by gripper		0	
Wrong image processing	Empty cell → Healthy	2	
	Healthy → Empty cell	0	
Seedlings planted successfully		191	
Transplanting time (sec/seedling)		4.18	

Table 8. Performance of the robotic transplanter with 200 seedlings for the 128-cell plug tray(not considering leaf orientation).

Item		No. of cell	Sum
Seedlings failed to isolate from cell		2	11
Seedlings missed during moving		1	
Seedlings failed to plant		2	
Seedlings damaged by gripper		1	
Wrong image processing	Empty cell → Healthy	4	
	Healthy → Empty cell	1	
Seedlings planted successfully		189	
Transplanting time (sec/seedling)		4.19	

Table 9. Performance of the robotic transplanter with 200 seedlings for the 72-cell plug tray(considering leaf orientation).

Item		No. of cell	Sum
Seedlings failed to isolate from cell		3	8
Seedlings missed during moving		2	
Seedlings failed to plant		0	
Seedlings damaged by gripper		0	
Wrong image processing	Empty cell → Healthy	3	
	Healthy → Empty cell	0	
Seedlings planted successfully		192	
Transplanting time (sec/seedling)		6.40	

Table 10. Performance of the robotic transplanter with 200 seedlings for the 128-cell plug tray(considering leaf orientation).

Item		No. of cell	Sum
Seedlings failed to isolate from cell		3	10
Seedlings missed during moving		2	
Seedlings failed to plant		0	
Seedlings damaged by gripper		0	
Wrong image processing	Empty cell → Healthy	5	
	Healthy → Empty cell	0	
Seedlings planted successfully		190	
Transplanting time (sec/seedling)		7.13	

이식 실험 결과 잎의 방향을 고려한 이식방법이 모종에 손상을 덜 입히는 것으로 나타났으나, 작업시간이 길어지는 단점을 보였다.

적 요

본 연구는 육묘용 로봇 이식기를 개발하기 위한 목적으로 수행되었으며 그 결과는 다음과 같다.

1. 기계시각에 의한 결주 및 불량묘 판별은 72공 플러그묘판의 경우 98.8%, 128공의 플러그묘판의 경우 94.9%, 잎의 방향을 고려한 경우 72공의 플러그묘판의 경우 93.5%, 128공의 경우 91.0%의 정확도를 나타내었다.

2. 로봇 이식기의 기구부와 구동부를 개발하였고, 이를 제어하기 위한 제어기를 개발하였으며, 머니퓰레이터의 위치제어 정확도는 ±1mm로 나타났다.

3. 잎의 방향을 고려하지 않은 이식방법에서의 이식성공률은 72공 플러그묘판의 경우 95.5%, 128공의 플러그묘판의 경우 94.5%로 나타났으며, 잎의 방향을 고려한 이식방법에서의 이식성공률은 72공의 경우 96.0%, 128공의 경우 95.0%로 나타났다.

인용문헌

1. Hwang, H. and F. E. Sistler. 1986. A robotic pepper transplanter. Applied Engineering in Agriculture 2(1) : 2-5.
2. 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.
3. Kutz, L. J., G. E. Miles, P. A. Hammer, and G. W. Krutz. 1987. Robotic transplanting of bedding plants. Transactions

of the ASAE vol.30(3) : 586－590.
4. Sakaue, O. 1994. Development of automated seedling production system －High quality seedling production device－. 일본 농업기계학회지 57(1) : 59－66.
5. 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.
6. Ting, K. C., G. A. Giacomelli, and S. J. Shen. 1990. Robot workcell for transplanting of seedlings. Part I : Layout and materials flow. Transactions of the ASAE vol.33(3) : 1005－1010.
7. 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.