

육묘용 로봇 이식기의 개발(III)⁺

- 로봇 이식기의 개발 -

Development of a Robotic Transplanter for Bedding Plants(III)

- Development of a Robotic Transplanter -

류관희*	이희환*	김기영*	한재성*
정회원		정회원	
K.H. Ryu	H.H. Lee	G.Y. Kim	J.S. Han

ABSTRACT

This study was conducted to develop a robotic transplanter for bedding plants. The robotic transplanter consisted of machine vision system, a manipulator, a gripper and plug tray transfer system. The performance of the robotic transplanter was tested and compared by two different transplanting methods, which were to consider the leaf orientation of seedlings and not to.

Results of this study were as follows.

- (1) A cartesian coordinate manipulator for a robotic transplanter with 3 degree of freedom was constructed. The accuracy of position control was ± 1 mm.
- (2) The robotic transplanter with the machine vision system, the manipulator, the gripper and the transfer system was developed and tested with a shovel-type finger. Without considering the orientation of leaves, the success rates of transplanting healthy cucumber seedlings in 72-cell and 128-cell plug-trays were 95.5% and 94.5% respectively. Considering the orientation of leaves, the success rates of transplanting healthy cucumber seedling in 72-cell and 128-cell plug-trays were 96.0% and 95.0% respectively.

주요용어(Key Words) : 로봇 이식기(robotic transplanter), 기계시각 시스템(machine vision system), 매니플레이터(manipulator), 그리퍼(gripper), 운송장치(transfer system)

+ 이 논문은 1994년도 한국학술진흥재단의 공모과제 연구비에 의하여 연구되었음

* 서울대학교 농업생명과학대학 농공학과 농업기계전공

1. 서론

시설재배 산업의 발전 방향이 파종, 육묘, 이식, 재배, 수확, 선별 및 포장, 출하에 이르기
는 모든 작업이 공장생산 체제인 식물공장임을 감안할 때, 시설재배에 있어 노동력의 부족
을 해소하기 위한 기계화 및 자동화의 필요성이 높아지고 있다. 특히 우리 나라의 엽채류
및 과채류 시설재배 작업체계에서 인력 의존도가 가장 높은 공정은 이식과 수확작업이며,
농촌 노동력의 급격한 감소에 따른 인력난 해소를 위하여 개개의 농가에서는 자가육묘보다
는 육묘공장에서 모종을 구매하여 정식하는 추세이어서 모종을 공급해 주기 위한 육묘공장
이 늘어나고 있는 실정이다.

현재 육묘공장에서의 작업체계를 살펴보면, 육묘 과정에서 온실 면적을 최대한 이용함과
동시에 에너지 및 육묘 노력을 최소화하기 위해서 플러그묘판에 파종한 후 1~3회 정도 이
식과정을 거치게 되는데, 파종 및 생육환경관리는 자동화되고 있으나, 이식작업은 수작업에
의존하여야 되기 때문에 많은 노동력을 필요로 한다. 이에 따른 해결책으로써 이식작업의
기계화가 절실히 요구되고 있다. 하지만, 이식작업은 작업대상이 어린 식물이라는 점에서 섬
세한 작업이 필요하고, 일반 산업공장에서의 작업과는 달리 작업대상이 표준화되어 있지 않
기 때문에 각각의 대상 작물에 대한 작업조건이 달라지는 어려움이 있다.

자동화된 로봇 이식시스템을 이용하면 시설재배의 장점인 연중재배에 필요한 모종을 생산
하는 육묘공장이나 대단위 시설재배농가의 육묘 생산시 노동력을 감소시키고, 이식작업의
자동화를 통하여 시설재배의 식물공장화를 앞당길 수 있으리라 판단된다.

시설재배에 적용하기 위한 플러그묘의 로봇 이식기를 개발하기 위한 연구가 몇몇 연구자
들에 의해 수행되어 왔다. Hwang과 Sistler(1986)는 로봇을 기존의 채소이식기에 부착하여
플러그묘의 토지 정식에 이용하는 연구를 수행하였다. Kutz와 Miles 등(1987)은 육묘 묘판
과 재배 묘판의 공급 배열 형태에 따른 이식 로봇의 작동 실험을 CAD 시뮬레이션을 이요
하여 수행하였고, 이를 검증하기 위하여 Puma 560로봇으로 이식실험을 수행하였다. 그들은
parallel-jaw 모양의 그립퍼의 운동이 육묘 묘판에서 재배 묘판으로 이식하는데 적절하다고
보고하였으며, 로봇이식기를 사용할 경우 이식작업은 정확하나 능률이 낮아 수작업에 의한
이식에 비하여 비용이 많이 든다고 보고하였다. Ting 등(1990)은 공급되는 플러그묘판의 배
열에 따른 로봇과 그립퍼의 운동궤도에 대한 연구를 Adept- I SCARA 로봇을 이용하여 수
행하였다. 또한 다양한 셀 크기의 플러그묘판에 적용할 수 있는, 공압으로 구동되는 니들을
이용한 그립퍼를 설계, 제작하여 실험한 결과를 보고하였다. Tai 등(1994)은 카메라, 레이저
및 광섬유를 갖춘 기계시각 장치를 이용하여 결주의 3차원 좌표를 찾아내는 알고리즘을 개
발하였다. Sakaue(1995)는 로봇이 레일 위를 움직이면서 광섬유 센서를 이용해 결주나 불량
묘를 찾아내어 전기 진공청소기를 이용, 흡인하여 제거하는 연구를 수행한 바 있다.

국내의 연구로는 Kim 등(1995)이 락과 피니언을 이용한 그립퍼와 그립퍼에 부착된 CCD
카메라로 이루어진 로봇 이식기를 개발하였다. 이 이식기는 트레이에서 각각의 셀을 하나씩
검사하여 결주와 불량묘를 찾아내고, 완전묘만을 이식하도록 되어 있으나 이식작업시 앞에

상해를 방지하기위한 고려는 하지 않았다.

본 연구는 육묘공장과 대단위 시설재배 농가에서 이식작업을 자동화하기 위한 로봇 이식기를 개발하기 위한 것이며, 육묘용 로봇 이식기의 개발(I), (II)에서 개발된 기계시각 시스템과 그리퍼를 이용하였다. 본 연구의 또 다른 목적은 매니플레이터와 플러그묘판 이송장치를 개발하여 전체적인 시스템을 구성하는데 있다. 구체적인 연구 목적은 다음과 같다.

1. 육묘용 로봇 이식기에 적절한 매니플레이터를 설계, 제작하고, 제어용 전용 컨트롤러를 개발한다.
2. 육묘용 로봇 이식기에 플러그묘판을 연속으로 공급해주는 플러그묘판 이송 시스템을 설계, 제작한다.
3. 기계시각 시스템, 그리퍼, 매니플레이터, 이송장치를 통합한 로봇 이식기를 개발한다.
4. 개발된 로봇 이식기의 성능시험을 수행한다.

2. 재료 및 방법

가. 매니플레이터

과실 수확용 로봇인 경우 장애물 회피를 위해서 여유자유도를 가진 수직 다관절형 로봇이 유리하지만, 가격이 비싸고, 제어가 어려운 단점이 있다. 이식이나 보식을 목적으로 하는 경우는 규격화된 육묘 트레이를 사용하기 때문에 직교 좌표형과 수평 다관절형 로봇이 적합하며, 본 연구에서는 위치 제어와 가격면에서 유리한 X, Y, Z축으로 구성된 3 자유도의 직교 좌표형 로봇을 개발하였다.

1) 매니플레이터의 설계 및 제작

매니플레이터 각축의 행정을 결정하기 위해서는 먼저 필요한 작업영역을 설정해야 한다. 로봇 이식기의 작업영역은 작업대상인 플러그묘판의 외형 치수를 바탕으로 설정하였으며, 다양한 종류의 플러그묘판을 수용할 수 있도록 작업영역에 여유를 두었다.

필요한 작업영역에 알맞은 매니플레이터의 구동원으로는 일본 일정공업주식회사의 S-series slide-bed를 사용하였으며, 알루미늄 합금을 사용하여 각 축의 지지부와 연결부를 제작하였다. 그리고, 각 축의 구동시 발생하는 관성에 의한 진동을 감소시키기 위해서 X축과 Y축에 직선운동 안내장치를 각각 2개와 1개를 부착하였고, 오차에 따른 기계적 충격을 완화시켜주기 위하여 Y축의 양 끝에 댐퍼를 부착하였다. 개발된 매니플레이터의 외형과 주요치수를 그림 1에 나타내었다.

2) 제어장치의 개발

매니플레이터의 구동원인 직선운동 slide-bed의 드라이버를 구동시키는 제어기는 컴퓨터

의 제어신호들을 각 드라이버에 입력시켜 직선운동 slide-bed를 구동시키는 역할을 하며, 이에 따른 모터의 상태를 컴퓨터에 피드백시켜 제어용 소프트웨어가 정확한 위치제어를 할 수 있도록 해준다. 컴퓨터와 콘트롤러 및 드라이버의 시스템 구성을 그림 2에 나타내었다.

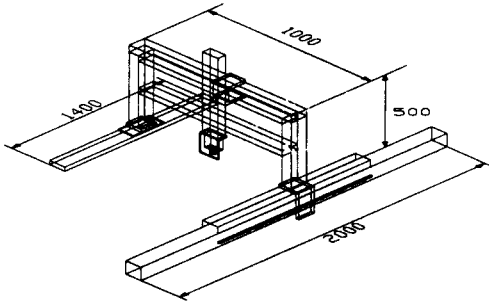


Fig. 1 Shape and dimensions of the manipulator developed.

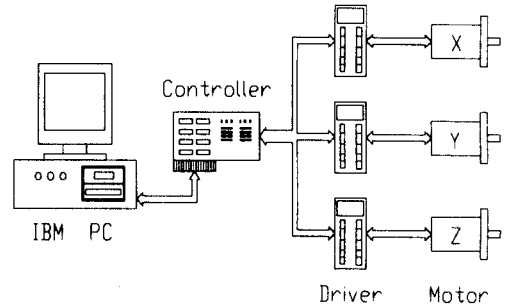


Fig. 2 Block diagram of the manipulator unit developed.

영상처리 결과를 이용해 주제어용 컴퓨터에서 머니플레이터의 X, Y축이 이동할 거리 및 속도를 계산하고 이를 제어기에 전송한다. 이식 시간의 단축을 위해서 X축과 Y축은 동시에 구동된다. Z축은 일정한 두 점 사이를 설정된 속도로 왕복운동을 하므로 콘트롤러에서 구동 시작 신호만 드라이버에 전송해주면 된다.

나. 육묘판 이송장치

육묘판 이송장치는 로봇 이식기에 작업 대상인 플러그묘판을 공급해 주는 장치로서 이식 작업의 연속성을 보장해 준다. 이송장치는 컨베이어와 이를 구동시키는 모터로 이루어져 있으며 이송장치의 구동모터는 제어기에 의해 속도 조절이 가능하도록 제작되었다. 플러그묘판을 기계시각부와 머니플레이터의 작업공간에 정확히 위치시키기 위하여 멈추개(stopper)를 제작·사용하였다.

이식할 플러그묘판과 이식될 플러그묘판의 공급을 위해 2대의 컨베이어를 사용하였고, 플러그묘판의 크기에 따라 컨베이어의 크기를 결정하였다. 제작된 컨베이어는 오성공업사의 표준형 컨베이어를 이용하였으며 그 길이는 4 m, 폭은 30 cm, 운송 속도는 1 ~ 50 m/min이다.

묘판은 멈추개에 의해 일정한 작업 공간에 위치하게 되는데 이 멈추개의 작동시간을 결정하기 위하여 육묘판의 유무를 검출하는 광센서를 사용하였다. 광센서는 작업 조건, 설치 조건, 응답 속도 등을 고려하여 선정하였으며 일본 Takenaka사의 NE_T10RD 제품을 사용하였다. 광센서는 이송되는 플러그묘판의 높이를 고려하여 컨베이어의 측면에 그림 3과 같이

부착하였다.

멈추개는 플러그요판의 외형치수를 기준으로 설계·제작하였다. 구동원으로 공압 실린더를 사용하였으며, 컨베이어에 부착된 멈추개를 그림4에 나타내었다.

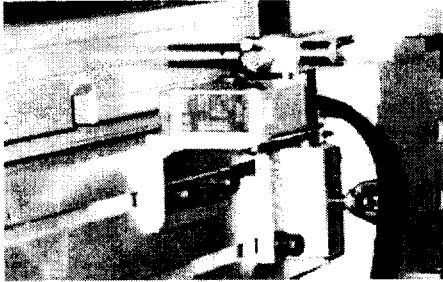


Fig. 3 Photograph of the stopper installation.

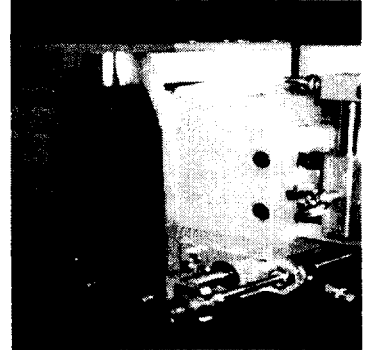


Fig. 4 Photograph of the photosensor installation.

컨베이어, 광센서, 멈추개로 이루어진 육묘판 이송장치의 외형과 주요 치수를 그림 5에 나타내었다.

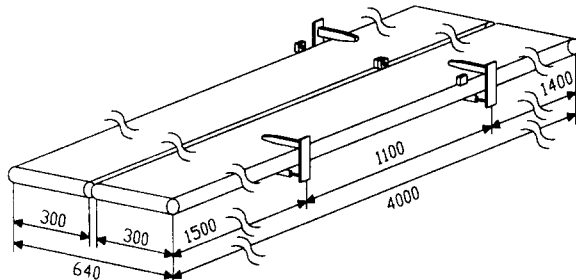


Fig. 5 Shape and dimensions of the plug tray transfer device.

다. 육묘용 로봇 이식기 시스템

앞에서 설계, 제작한 머니플레이터, 육묘판 이송장치와 함께 육묘용 로봇 이식기의 개발 (I), (II)에서 설계, 제작한 기계시각 시스템, 그리퍼를 결합하여 육묘용 로봇 이식기를 개발하였다.

제작된 육묘용 로봇 이식기의 사진을 다음 그림 6에 나타내었다.

개발된 로봇 이식기는 주제어컴퓨터에 의해 통합제어된다. 그림 7에 로봇이식기의 각 구성요소들을 통합 제어하기 위하여 개발한 제어 프로그램의 자동화면을 나타내었다.

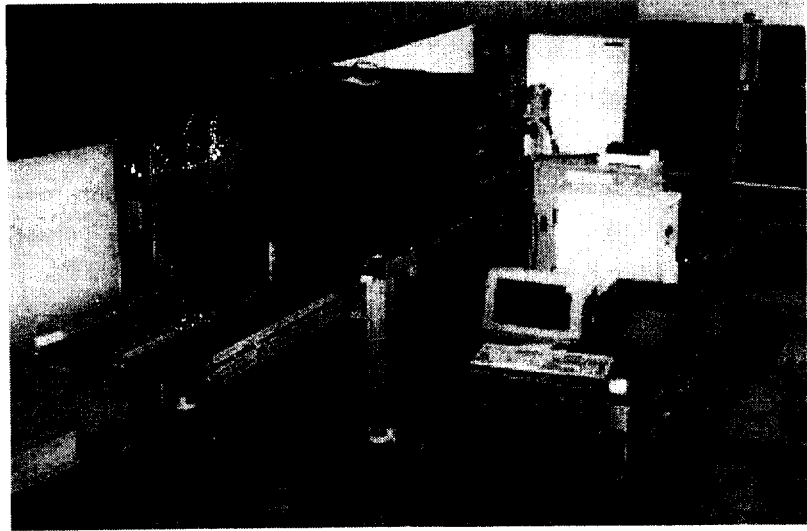


Fig. 6 Photograph of the robotic transplanter developed.

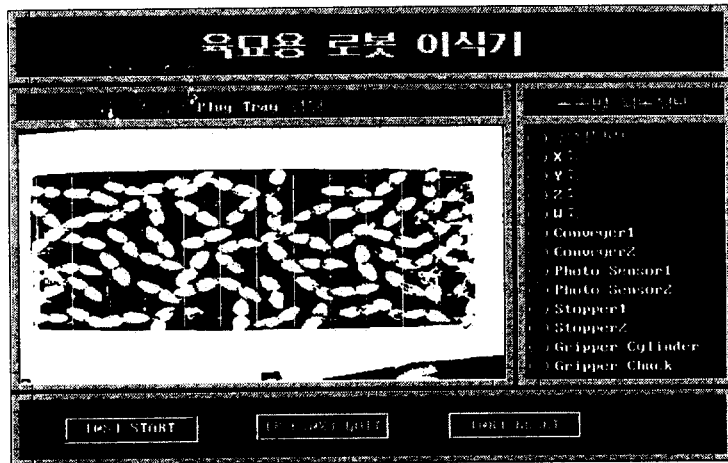


Fig. 7 An example CRT display of the integrated control software for the robotic transplanter.

3. 결과 및 고찰

성능 평가 실험을 위하여 오이를 실험 작물로 선정하였는데, 그 이유는 파종 후 이식작업이 가능한 상태까지 성장하는데 걸리는 시간이 비교적 짧기 때문이다. 실험을 위해서 오이를 128공과 72공의 플러그묘판에 피트모스를 사용하여 파종하였고, 서울대학교 부속농장의 벤로(venlo)형 유리 온실에서 키웠다. 국내 육묘공장에서 일반적으로 적절한 이식시기에 도달하였다고 여겨지는 파종 후 16일 지난 오이묘를 사용하여 이식실험을 수행하였다.

가. 머니플레이터

개발된 머니플레이터가 로봇 이식기의 구동부로서 적합한지를 검토하기 위하여 위치 제어 정확도에 대한 시험을 수행하였다. 작업영역안에서 임의의 이동 좌표를 설정하여 20회의 반복 이동을 수행하고 최대 설정 위치 오차를 측정된 결과 최대 ± 1.0 mm였다. 플러그묘판 셀의 크기를 고려할 때, 그리퍼의 핑거가 셀의 중앙으로부터 ± 3.0 mm의 위치 오차 범위에서 이식작업을 수행하면 모종을 문제없이 이식할 수 있으므로 개발된 머니플레이터는 이식작업을 수행하는데 충분하다고 판단되었다.

나. 육묘용 로봇 이식기

육묘용 로봇 이식기의 개발(II)의 그리퍼의 성능 평가에서 선정된 삽(shovel)형 핑거를 사용하여 이식방법에 따른 로봇 이식기의 성능 평가를 수행하였다. 72공과 128공의 플러그묘판에 대하여 각각 200개의 모종을 대상으로 실험하였으며, 영상처리결과에 따라 이식작업을 수행하도록 하였다.

1) 결주와 불량묘를 제외한 완전묘의 이식

72공 플러그묘판에 대한 실험 결과를 표 1에, 128공 플러그묘판에 대한 실험 결과를 표 2에 나타내었다.

Table 1 Performance of the robotic transplanter with 200 seedlings for 72-cell plug tray (not considering leaf orientation)

Result analysis		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 2 Performance of the robotic transplanter with 200 seedlings for 128-cell plug tray (not considering leaf orientation)

Result analysis		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	

실험결과 앞의 방향을 고려하지 않은 경우, 그리퍼의 작동에 의해 상해를 입은 모종이 나타났다. 그리고, 표에 나타난 이식 시간은 최초의 플러그묘판 하나를 이식하는데 소요되는

시간(영상처리 시간 포함)을 플러그묘판의 셀수로 나누어준 값이다.

2) 잎의 방향을 고려한 이식방법

72공 플러그묘판에 대한 실험 결과를 표 3에, 128공 플러그묘판에 대한 실험 결과를 표 4에 나타내었다.

Table 3 Performance of the robotic transplanter with 200 seedlings for 72-cell plug tray (considering leaf orientation)

Result analysis		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 4 Performance of the robotic transplanter with 200 seedlings for 128-cell plug tray (considering leaf orientation)

Result analysis		No. of cell	Sum
Seedlings failed to isolate from cell		3	10
Seedlings missed during moving		2	
Seedlings failed to plant seedling		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 상해를 덜 입히는 것으로 나타났으나, 작업시간이 길어지는 단점을 보였다.

4. 요약 및 결론

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

1. 로봇 이식기의 구동부인 머니플레이터를 개발하였고, 이를 제어하기 위한 콘트롤러를 개발하였다. 머니플레이터의 위치 제어 성능 평가 결과 ± 1 mm의 오차 안에서 제어되었다.
2. 육묘용 로봇 이식기와 이식기 제어를 위한 통합 제어기를 개발하였다. 개발된 로봇 이식기의 성능 평가를 수행한 결과, 결주 및 불량묘 판별만을 이용한 이식방법에서는 72공 플러그묘판의 경우 95.5%, 128공의 플러그묘판의 경우 94.5%의 성공률을 보였으며, 잎의 방향을 고려한 이식방법에서는 72공의 경우 96.0%, 128공의 경우 95.0%의 이식 성공률을 보였다.

참고 문헌

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.