

식물공장용 포트묘 로봇 이식기 개발⁺

Development of a Robotic Transplanter for Pot-Seedlings of Plant Factory

류 관 희*	김 기 영*	류 영 선**	한 재 성*	신 태 응***
정회원	정회원	정회원		
K. H. Ryu	G. Y. Kim	Y. S. Ryu	J. S. Han	T. W. Shin

ABSTRACT

This study was conducted to develop an automatic pot-seedling transplanter for plant factory. The transplanter consists of a gripper, row-spacing control device, nursing tray transfer system, growing trough transfer system, and gripper moving device. The gripper picks up pot-seedling. The gripper moving device moves the gripper between nursing tray and growing-flat. Nursing trays are moved to workspace by the nursing tray transfer system. The growing trough transfer system was developed to move growing trough to workspace. The row-spacing control device was used to adjust the distance between adjacent plants transversely.

The results of this study are as follows.

The transplanting capacity of the developed transplanter was 7.1 seconds per cycle or 1.18 second per pot-seedling. Successful planting was 98.9% without seedlings and 95.8% with seedlings.

주요용어(Key Words): 식물공장(plant factory), 로봇이식기(robotic transplanter), 포트묘(pot-seedling), 그리퍼(gripper)

1. 서 론

급속한 산업 발전에 따른 농촌 노동력의 급격한 감소와 세계무역기구(WTO)체제 출범에 따른 농산물 수입 개방에 대처하기 위해서는 우리 농업을 경쟁력있는 산업으로 육성하여 국제 경쟁력을 키워야

한다. 국민소득 증대에 따른 고품질의 농산물의 수요증가에 적절히 대응하기 위하여 품질 좋은 농산물을 값싸게 생산할 수 있는 기술 집약적 농업의 필요성이 점점 증대되고 있다.

선진국의 경우 엽채류의 시설재배에서 육묘의 기계화, 자동 이식기 사용, 복합환경 시스템 및 자동

⁺ 이 논문은 1996년 농림부 첨단과제 연구비에 의하여 연구되었음

* 서울대학교 농업생명과학대학 농공학과 농업기계전공

** 삼주기계(주)

*** 서울대학교 농업개발연구소

수확 시스템 적용 등 대부분의 작업이 기계화 및 자동화를 이루어 고부가가치, 무공해의 농산물을 연중 무휴의 작업을 통해 생산하고 있으나, 우리 나라의 경우 자동 파종기, 복합환경제어 시스템 및 자동 양액관리 시스템 등 일부분만 자동화가 이루어 졌을 뿐 이식, 선별, 수확 등의 작업은 아직도 인력에 의존하고 있다.

좁고 값비싼 국토와 열악한 영농조건아래서 국제적으로 무한경쟁시대에 직면해 있는 우리 농업을 경쟁력을 갖춘 매력있는 산업으로 육성하기 위해서는 우리 실정에 맞는 식물공장이 필요하며, 이를 위하여 모종의 이식, 보식의 자동화가 필요하다. 외국의 일부 식물공장에서는 이식기를 이용한 모종의 이식이 상업화 되어가고 있으나 현재 우리 나라의 경우는 포크를 이용한 수작업으로 진행되고 있다. 이러한 이식 작업은 단순, 반복적인 작업으로서 자동화 장치로의 대체가 가능한 작업이다. 이식, 보식 등 개별 작업의 자동화는 식물공장의 면적을 최대한으로 이용함과 동시에 육묘의 생장 발달 과정에 적합한 작물의 생육공간을 자동적으로 만들어 줌으로써 노동력의 절감 및 연중 무휴의 작물 생산체계를 이룰 수 있는 기반이 될 것이다.

시설재배에 사용되는 자동 이식 로봇에 대한 연구로는 Hwang과 Sistler(1986)의 후추의 잎과 줄기를 잡아 이식하는 이식 로봇, Kutz 등(1987)의 공압 parallel-jaw 형식의 그리퍼를 이용하여 상토에 핑거를 찌르는 방법으로 이식작업을 수행하는 이식 로봇, Ting 등(1990)의 공급되는 플러그 묘판의 배열에 따른 로봇과 그리퍼의 운동궤도에 대한 연구와 정전용량성 근접센서를 이용한 그리퍼 개발, Tillet 등(1992)의 8조의 나선형의 철사모양을 한 그리퍼를 이용하여 모종의 줄기부분을 잡아 이식하는 이식기 및 Sakaue(1995)의 광섬유 센서를 이용해 결주나 불량묘를 찾아내어 전기 진공청소기를 이용, 흡인하여 제거하는 연구 등이 수행되었다.

국내의 연구로는 Kim 등(1995)이 그리퍼에 부착한 CCD 카메라를 이용하여 트레이 내의 각각의 셀을 검사하여 결주와 불량묘를 찾아내고, 완전묘만을 이식하는 로봇에 관한 연구와, 류 등(1998)의 전체

트레이에 대한 결주를 판명하여 완전묘만을 이식하는 로봇 이식기에 관한 연구가 있다.

본 연구의 목적은 다음과 같다.

1. 식물공장용 포트묘 로봇 이식기에 적절한 그리퍼를 설계, 제작한다.
2. 육묘판과 재식판에 적절한 주간거리로 조절할 수 있는 주간조절장치를 설계, 제작한다.
3. 육묘판 및 재식판 이송장치, 그리퍼 이동장치를 설계, 제작하고, 이의 제어를 위한 전용 제어기를 개발한다.
4. 위의 장치들로 이루어진 식물공장용 포트묘 로봇 이식기를 개발하고, 이식 실험을 통하여 이식기의 성능을 평가한다.

2. 재료 및 방법

가. 포트묘 로봇 이식기

본 연구에서 개발된 시스템은 육묘판을 작업영역으로 이송시켜 주고 그리퍼에 육묘포트를 옮겨 주기 위한 육묘판 이송장치, 재식판의 반입 및 반출과 그리퍼에서 포트를 분리하기 위한 재식판 이송장치, 그리퍼를 육묘판과 재식판 사이를 왕복 이동시키는 그리퍼 이동장치, 육묘판과 재식판 간격을 조정하기 위한 주간조절장치 및 육묘포트를 이식하기 위한 그리퍼로 구성되어 있다. 이의 구성도를 그림 1에 나타내었다.

나. 그리퍼

1) 핑 거

핑거의 모양은 앞부분의 간격을 약간 넓게 만들고, 다소 뾰족하게 제작하여 이송장치의 이동을 통하여 육묘포트를 잡을 때 매끄럽게 잡을 수 있도록 설계하였으며, 핑거 안쪽으로 육묘포트가 들어왔을 때 밖으로 육묘포트가 빠져나갈 수 없도록 앞부분에 턱을 만들었다. 핑거 안으로 들어온 육묘포트를 가능한 많은 접촉면적을 갖고 잡기 위해 안쪽은 반원 형태로 설계하였다. 핑거의 복원력을 이용하여 육묘

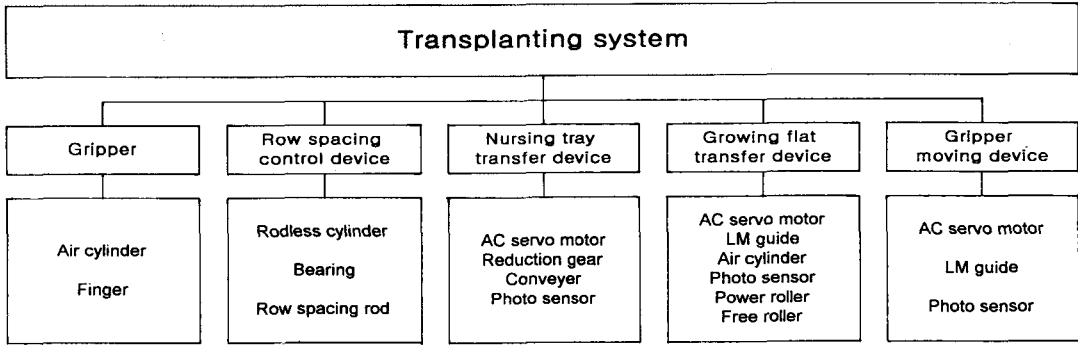


Fig. 1 Schematic diagram of the robotic transplanter.

포트를 잡기 위하여 육묘포트 홈의 지름(28mm)보다 핑거의 내경(27mm)을 작게 하여 육묘포트를 잡는 순간 핑거가 1mm 정도 벌어지도록 제작하였으며, 이를 위해 재질은 플라스틱 계열의 아세탈을 이용하였다. 제작된 핑거의 형태를 그림 2에, 핑거의 작업 대상체인 육묘포트의 형태를 그림 3에 나타내었으

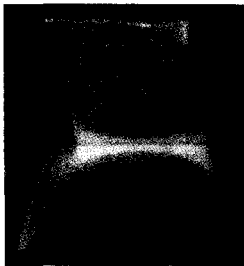


Fig. 2 Shape of the finger developed.



Fig. 3 Shape of the seedling pot used.

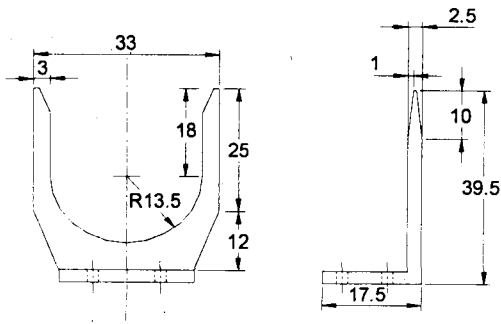


Fig. 4 Size of the finger developed.

며, 핑거의 크기를 그림 4에 나타내었다.

그리퍼의 상승 및 하강은 공압 로드회전방지용 실린더를 이용하여 구성하였으며, 핑거의 상승 및 하강시 육묘포트가 육묘판 및 재식판을 빠져 나와 자유롭게 이동할 수 있도록 육묘포트의 높이(26mm)와 뿌리의 길이를 고려하여 그리퍼의 상하 행정을 결정하였다. 선정된 공압 로드회전방지용 실린더는 SMC사의 CJ2K10-60 제품으로 행정길이는 60mm이며 이를 이용하여 구성된 그리퍼를 그림 5에 나타내었다.

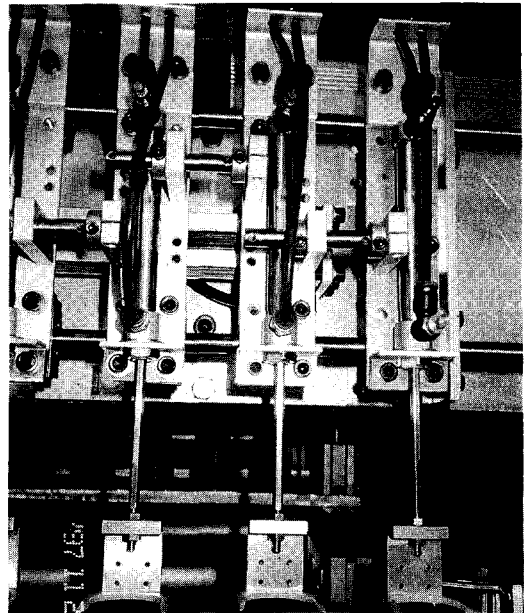


Fig. 5 Shape of the gripper developed.

2) 주간조절장치

육묘판의 주간 및 조간보다는 재식판의 주간 및 조간이 상대적으로 넓기 때문에 한 번에 여러 주의 육묘포트를 옮기는 이식시스템에는 주간조절장치 또는 그에 상응하는 장치가 있어야 한다. 이 주간조절장치는 재식판이 다양한 작물에 따라 크기가 달라질 경우에 부응하기 위하여 육묘판의 형상과 재식판의 형상에 맞도록 주간을 변화시킬 수 있어야 하며, 그리퍼간 간격이 일정하게 유지됨과 동시에, 주간 조절이 진행되고 있을 때 흔들림이 없어야 한다. 제작된 주간조절장치의 형상을 그림 6에 나타내었다.

주간조절장치의 작동원리는 그림 7과 같이 상대적으로 고정된 판(A)을 중심으로 이동하는 판 C가 봉 D를 따라 움직이면서 주간조절을 수행한다. 주간

간격의 최대값과 최소값은 봉 D에 설치된 턱 B1, B2를 이용하여 결정한다. 이동판 C는 봉 D를 따라 이동하면서 B1과 B2에 의해 이동거리가 제한되어 주간을 넓히고 좁힌다. 그리고 이동판 C는 로드레스 실린더를 이용하여 구동하였다. B1과 B2는 봉 D를 따라 자유롭게 이동이 가능하므로 그에 따라 여러 가지 주간이 발생하도록 제작하였다. 주간은 기준점에 대하여 35mm, 40mm, 45mm, 60mm, 80mm로 설정할 수 있으며, 장치의 공차는 모두 1mm 이내로 제작되었다.

다. 이송 및 이동장치

1) 육묘판 및 재식판

육묘포트를 담기 위한 육묘판 및 재식판을 제작하였다. 육묘판은 컨베이어벨트와 많은 마찰력을 주도록 하단에 고무를 부착하였으며, 재질은 알루미늄이다. 육묘판의 크기는 250mm×320mm×35mm로 가로 6조 세로 8조로 되어 있다. 재식판은 작물의 생육기간 내내 작물을 생육시키는 판으로서 NFT 혹은 DFT 생육을 위한 사각파이프 형태이다. 재식판의 크기는 60×45×1470 (mm), 재질은 알루미늄이며 한 재식판의 10개의 육묘포트를 담을 수 있도록 제작하였다.

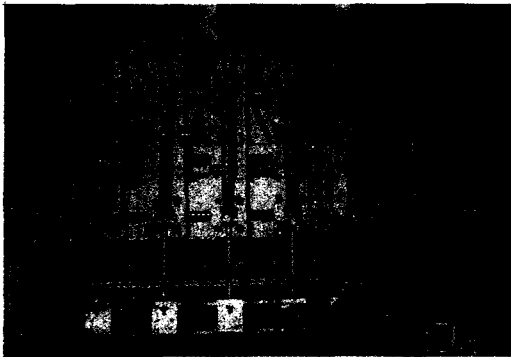


Fig. 6 Photograph of the row spacing control device developed.

2) 육묘판 이송장치

육묘판 이송장치는 컨베이어를 사용하여 구성하였다. 컨베이어의 크기는 육묘판의 크기에 맞게 조절하였으며, 약간의 여유공간을 두어 더 큰 육묘판을 이용할 수 있도록 하였다. 실험에 사용된 컨베이어는 오성공업사의 표준형으로 길이는 4m, 폭은 30cm이다. 컨베이어의 구동은 AC 서보 모터를 이용하였으며, 이송에 맞는 속도 및 토크를 얻기 위하여 감속비 100:1인 감속기어를 사용하였다. 육묘판의 위치 파악을 위하여 일본 Takenaka사의 NE-T10RD 투과형 광센서를 이용하였다.

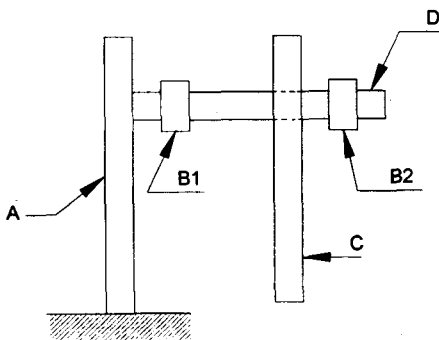


Fig. 7 Mechanism of the row spacing control.

3) 재식판 이송장치

가) 재식판 반입부

재식판의 반입을 위하여 모터롤러 2개를 이용하였으며, 반입시 재식판이 일정한 경로로 움직이도록 양옆에 가이드 롤러를 부착하였다. 이 시스템에 사용한 모터롤러는 일본 A-ONE사의 SMA-10-360-VIR 제품으로 직경 57mm, 길이 360mm, 20W이고 롤러표면에 3mm 고무코팅을 하였다. 또한 재식판이 작은 하중으로 이송이 가능하도록 40cm 간격으로 자유롤러를 부착하였다. 재식판이 작업 위치로 이동하였음을 인지하기 위하여 광센서를 사용하여 재식판의 위치를 파악하였다. 2개의 모터롤러에 의해 재식판이 작업 위치 쪽으로 이동하여 이식기가 작업을 하고 있는 재식판과 서로 맞물리게 되었을 때 재식판끼리 지그재그로 맞물릴 수 있도록 하기 위해 공압실린더를 이용하여 재식판을 밀어 정확한 위치로 물리도록 하였다. 제작된 재식판 반입부의 형상을 그림 8에 나타내었다.

나) 재식판 이송부

재식판 이송장치의 초기 위치는 광센서를 이용하여 파악하였으며, 재식판의 이송은 정확한 위치 이동을 위해 AC 서보 모터를 사용한 직선 구동기를 사용하였다. 재식판 이송장치는 구동 동력원으로써 AC 서보 모터, 모터의 회전운동을 직선 왕복운동으로 변환시켜 주는 LM 가이드 구동기, 이송 프레임, 이송 프레임에 부착하여 6개의 핀 축이 2개의 공압

실린더에 의해 일제히 상하 작동을 하면서 재식판의 포트 구멍을 잡는 이송용 재식판 잡는 장치 및 이송 프레임 후퇴시 재식판을 고정시킬 수 있는 고정용 재식판 잡는 장치로 구성되어 있다. 이송용 재식판 잡는 장치와 고정용 재식판 잡는 장치가 교대로 상하 작동을 하여 6개의 재식판을 일제히 잡았다가 놓았다가 하면서 AC 서보 모터와 이송 프레임의 왕복 운동에 의해 한 번에 한 조간씩 재배조를 이송시킨다. 재식판 이송부의 모습을 그림 9에 나타내었다.

4) 그리퍼 이동장치

그리퍼 이동장치는 육묘판과 재식판 사이에서 그리퍼를 이동시키기 위한 것으로 초기 위치는 광센서를 이용하여 파악하였으며, 장치의 오동작을 방지하기 위하여 양끝단에 리미트 스위치를 부착하였으며 정확한 위치를 움직이기 위하여 AC 서보 모터를 이용하였다. 그리퍼 이동장치의 부하 능력은 이동장치에 부착되어 있는 구간조절장치와 그리퍼의 무게 및 차후의 상하 이동축의 무게를 고려하여 선정하였으며, 행정 길이는 육묘판과 재식판의 크기를 고려하여 제작하였다. 선정된 그리퍼 이동장치의 몸체는 삼성전자의 RCM4-A로 부하능력은 30kgf, 행정길이는 800mm, 최대이송 속도는 1,000mm/s 이다.

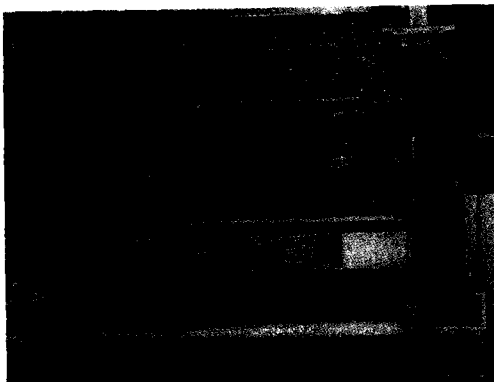


Fig. 8 Photograph of the transfer system which moves growing troughs to the work space.

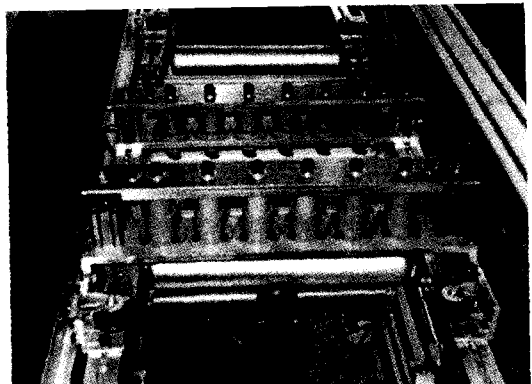


Fig. 9 Photograph of the growing-trough transfer device.

라. 포트묘 이식 시스템

1) 이식 시스템 제어기 개발

차후 이식 시스템의 성능 개선을 위해서는 결주 및 불량묘를 인식하여 제거하기 위한 보식기 또는 이식전 슈아내기를 위한 영상처리 작업이 필요하다. 이식 시스템을 보완하기 위해서 효율적인 영상처리 작업을 고려할 필요가 있는데 영상처리 작업시 주제 어기의 과중한 부담(즉, 영상처리와 이식기를 동시에 구동하는 것)을 줄이기 위해 원칩마이크로프로세

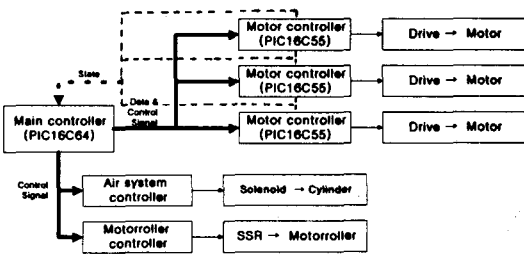


Fig. 10 Organization of the system controller.

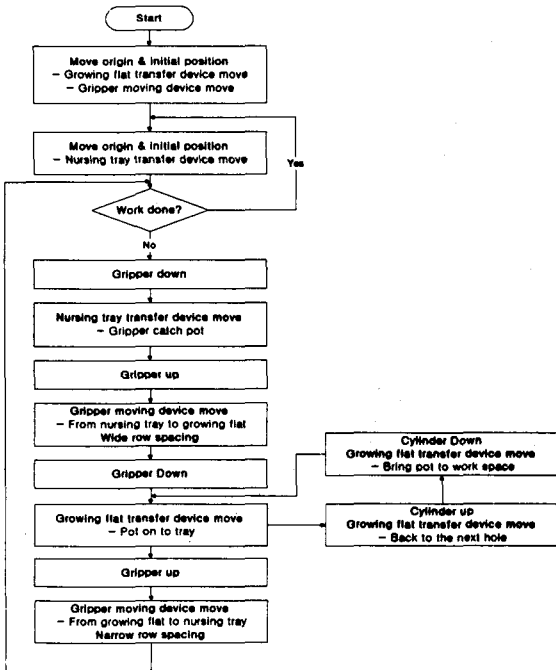


Fig. 11 Flowchart of the transplanter operation.

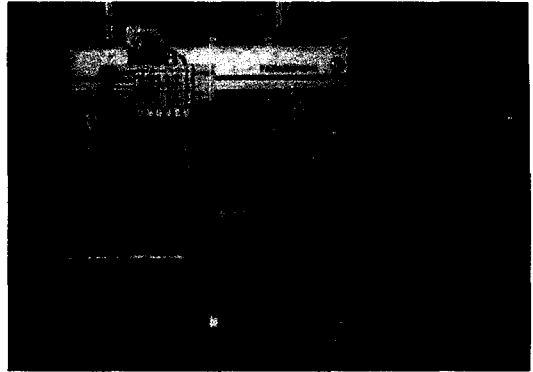


Fig. 12 Photograph of the robotic transplanter for pot-seedlings.

서인 PIC16C64를 이용하여 시스템을 제어하였다. 이의 구성도를 그림 10에 나타내었다.

메인 제어기는 모터구동을 위해 모터 제어기와 병렬 handshake 방식을 통해 통신을 수행하고 있으며, 그리고 몇 여러 공업 작동기의 실린더들을 제어하도록 설계하였다. 또한, 전체 시스템의 작업 흐름도를 그림 11에 나타내었다.

2) 포트묘 이식 시스템

제작한 그리퍼, 주간조절장치, 육묘판 이송장치, 재식판 이송장치 및 그리퍼 이동장치를 조합하여 육묘포트 이식 시스템을 구성하였다. 제작한 포트묘 이식 시스템의 외형을 그림 12에 나타내었다.

3. 결과 및 고찰

가. 이식기 작업방식

제작된 핑거를 이용하여 이식 작업을 수행하였다. 이식작업의 순서는 다음 그림 13과 같다.

작업순서는 위 그림 13과 같이 (a)에서 (f)까지 하나의 주기로 구성된다. 먼저 그리퍼 이동장치가 육묘판 작업위치로 이동하는 동시에 주간조절장치를 줄이고 그리퍼를 하강하여 포트를 육묘판에서 분리할 준비를 하고(a), 이 때 육묘판 이송장치가 작동하

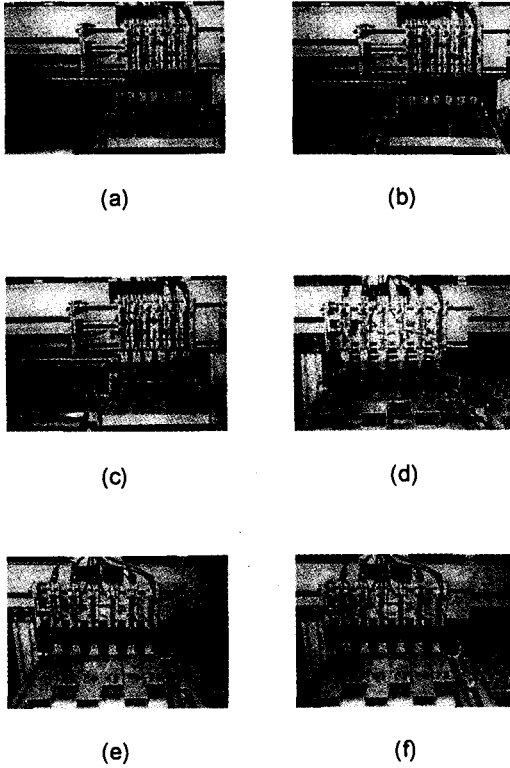


Fig. 13 Photograph of the robotic transplanter operation.

여 그리퍼가 육묘포트를 잡는다(b). 육묘포트를 잡은 후 그리퍼를 상승하고(c), 그리퍼 이동장치를 이용하여 그리퍼를 재식판으로 이동시킨다. 이때 주간 조절장치는 재식판의 구멍 간격에 맞도록 벌리고, 재식판 이송장치는 실린더와 모터를 구동하여 작업 위치로 재식판 이송장치를 이동시킨다(d). 그리퍼를 하강하여 육묘포트를 재식판에 안착시킨 후(e), 재식판 이송장치를 이동하여 그리퍼에서 육묘포트를 분리시킨다(f).

나. 작업속도

이식기의 성능지표인 이식기의 작업속도를 측정하기 위하여 1회 이식작업 동안 소요되는 시간을 측정하였다. 1회 이식작업은 그리퍼가 육묘판에서 육

묘포트를 집고 재식판으로 육묘포트를 안착시키기까지의 시간이다. 작업속도를 측정하기 위하여 이식작업 10회에 필요한 시간을 5회 반복하여 측정하였다. 측정결과 1회 작업시간은 7.10초/6주로서 주당 1.18초가 소요되었다.

다. 작업성능

이식기의 작업성능을 측정하기 위하여 작업시간과 작업성공률을 측정하였다. 그리고, 측정은 육묘판에 육묘포트만 있을 경우와 육묘판에 모종이 심어 있는 경우에 대하여 실험하였다.

1) 육묘포트만 이식하는 경우

육묘판에 육묘포트만 들어 있는 경우의 실험방법은 90개의 육묘포트(육묘판 2 tray)를 이동시키면서 성능평가를 수행하였고, 5회 반복실험을 하였다. 여기서는 2회의 육묘판 반입 및 1회의 재식판 반입시간이 추가된 것이다. 측정 결과는 다음 표 1과 같다. 측정결과 5회 작업시간은 10분 22초 90으로 90개의 육묘포트를 이식하는 데 2분 4초 38이 소요되었다. 즉 1주당 이식시간은 1.38초가 소요되었으며, 작업성공률은 98.9%로 나타났다.

Table 1 Results of the performance test of the robotic transplanter without seedlings

		No. of pots	%
Successful planting		442	98.9
Planting failure	Failed isolating from nursing tray	0	0.0
	Failed isolating from growing flat	3	0.6
	Pot broken	2	0.4
Sum		487	100.0
Operating time (sec)		124.38	

Table 2 Results of the performance test of the robotic transplanter with seedlings

		No. of pots	%
Successful planting		345	95.8
Planting failure	Failed isolating from nursing tray	2	0.6
	Failed isolating from growing flat	5	1.4
	Pot broken	0	0.0
	Seedling damaged	8	2.2
Sum		360	100.0
Operating time (sec)		48.57	

2) 모종이 심어 있는 경우

실험에 사용된 계획하고자 하는 식물공장의 초기 생산 품목으로 상추를 선정하였기에 이식작업은 상추 육묘를 대상으로 실험하였다. 실험을 위하여 상추는 스펀지에 재배하였으며 실험농장의 벤로형 유리온실에서 생육시켰다. 대상작물은 파종 후 40일이 지난 모종이다. 실험방법은 36개의 육묘포트를 이동시키면서 성능평가를 수행하였고, 10회 반복실험을 하였다. 여기서는 1회의 육묘판 반입시간이 추가된 것이다. 측정 결과는 다음 표 2와 같다. 1회 이식 작업시간은 48.57초로 주당 1.35초가 소요되었으며, 작업성공률은 95.8%로 나타났다.

4. 요약 및 결론

본 연구는 식물공장용 포트묘 이식기를 개발하기 위한 목적으로 수행되었으며, 그 결과는 다음과 같다.

(1) 식물공장용 포트묘 이식기에 적절한 평거를 개발하였으며, 이를 사용한 그리퍼를 제작하였다. 또한 육묘판 이송장치, 재식판 이송장치 및 그리퍼 이동장치를 설계·제작하였다. 육묘판과 재식판에 따른 적절한 주간거리를 조절할 수 있는 주간조절장치를 설계·제작하였다. 이렇게 설계·제작된 장치들을 이용하여 식물공장용 포트묘 이식 시스템을 제

작하였다.

(2) 개발된 이식기의 작업성능을 평가하기 위해 작업시간을 측정한 결과 작업 1회당 작업시간은 7.10초, 1주당 작업시간은 1.18초가 소요되는 것으로 나타났다.

(3) 작업성능을 측정하기 위해 개발된 이식기를 이용하여 이식작업을 수행한 결과 작물이 없는 상태에서 90개의 육묘포트를 이식하는 데 소요된 시간은 124.38초, 이식 성공률은 98.9%이었으며, 작물이 있는 상태에서 36개의 육묘포트를 이식하는 데 소요시간은 48.57초, 이식 성공률은 95.8%이었다.

참 고 문 헌

1. 류관희, 이희환, 김기영, 한재성. 1998. 육묘용 로봇 이식기의 개발(Ⅲ) - 로봇 이식기의 개발 -. 한국농업기계학회 1997년 하계 학술대회 논문집.
2. Hwang, H., and F. E. Sistler. 1986. A robotic pepper transplanter. *Applied Engineering in Agriculture* 2(1):2-5.
3. 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.
4. 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.
5. Sakaue O. 1995. Development of automated seedling production system - Tray handling devices and evaluation of the robotic system -. *일본 농업기계학회지* 57(3):111-119.
6. Tillett, N. D., S. J. Miles, J. B. Holt, A. L. Wikin, and M. A. Scott. 1992. An experimental automatic repotting machine for hardy ornamental nursery. *Agricultural engineering* vol. 53:289-303.
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.