

식물공장용 포트묘 보식 시스템 개발⁺

Development of a Complementray Pot-Seedling Transplanting System for Plant Factory

류찬석*	류관희*	한재성*	김기영*
정회원	정회원	정회원	정회원
C. S. Ryu	K. H. Ryu	J. S. Han	G. Y. Kim

1. 서론

우리 나라 농업은 대내적으로 급속한 산업화로 인한 농촌 노동력의 감소, 노동 인구의 노령화, 국민소득 증대에 따른 식생활 습관의 변화, 그리고 고품질 농산물의 수요 등에 직면해 있다. 또한, 대외적으로는 세계무역기구(WTO)체제 출범과 생물다양성 협약, 기후변화 협약, 그린라운드 등에 따른 점진적인 농산물의 수입 자유화 압력을 받고 있어 농산품의 경쟁력 강화와 환경보존을 위한 노력이 시급한 실정이다.

선진국의 경우 농업이 직면한 문제의 해결을 위하여 농약과 화학비료의 투입량을 최소한도로 억제하여 지역자원과 환경을 보전하면서, 장기적으로 일정한 생산력과 수익성을 확보하고, 안전한 식품생산에 기여하고자 하는 새로운 농법체계가 광범위하게 권장되고 있다. 이와 관련하여 육묘공장 및 식물공장 운영의 기초가 되는 환경제어, 수경재배, 생산공정의 자동화 등에서 많은 발전이 이루어지고 있으며, 현재 실용화 단계에 있다.

일반적으로 종자 파종시 종자선별을 거치지 않는 경우 발아율이 70~80%정도이고 선별을 거친 경우 발아율이 90%정도로 나타나고 있어 부가적으로 결주를 판별하고 보식하는 노동력을 필요로 하게 되는 육묘공장과 식물공장에 자동화된 보식 시스템을 도입하면 적은 노동력으로도 고품질의 농산물을 손상이나 손실 없이 생산할 수 있고 경제적인 부분에서도 불량묘 및 결주에 대한 생육관리에 필요한 비용을 줄여주므로 가치가 높을 것으로 판단된다.

본 연구의 목적은 선행 연구에서 개발한 포트묘 이식 시스템과 결합하여 이식 후 부가적으로 결주를 판별하고 보식할 수 있는 자동 보식 시스템을 개발하는데 있다.

2. 재료 및 방법

가. 보식 시스템의 구성

⁺ 이 논문은 1996년 농림부 첨단과제 연구비에 의하여 연구되었음

^{*} 서울대학교 농업생명과학대학 생물자원공학부 농업기계전공

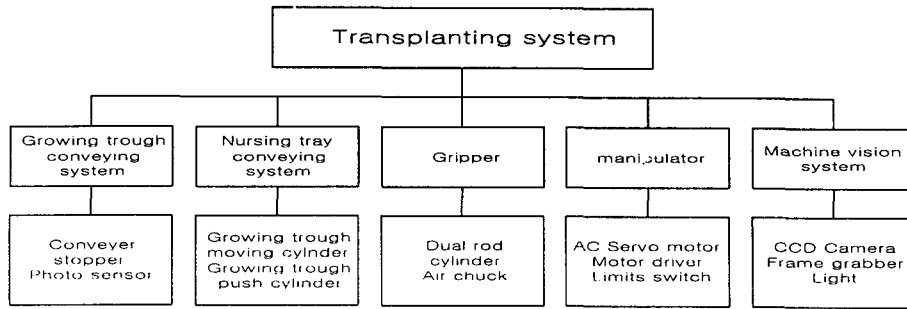


Fig. 1 Schematic diagram of the complementary pot-seedling transplanting system.

나. 기계시각 시스템

본 연구에서 사용된 기계시각 시스템은 1차 이식작업을 거친 재배홈통 및 보식작업에 공급되는 육묘상자의 영상을 획득하여 결주 및 불량묘의 유무를 판정하는데 목적이 있다. 영상처리 장치는 영상처리장치 프레임, 칼라 CCD 카메라, 프레임 그래버, 3파장 형광등, 퍼스널 컴퓨터로 구성하였다.

영상처리를 위한 RGB모델의 사용은 영상 자체값들이 3개의 색 평면으로 자연스럽게 표현될 때 온당하며 디지털 영상을 얻기 위해 사용된 대부분의 색채 카메라들이 RGB 형식을 사용하고 있다. 따라서, 색채영상을 이용하여 육묘포트에 담긴 모종의 결주나 유·무를 판단하기 위해서는 RGB값을 알아야 한다. 본 연구에서 사용되어진 육묘상자와 재배홈통의 재질이 서로 차이가 나기 때문에 RGB값만으로는 잎의 유무를 판별하기 어려워 RGB값을 HSI값으로 변환하여 각각의 특성을 분석하여 모종과 배경을 분리하였다.

영상처리를 위한 알고리즘을 아래 그림2에 나타내었다.

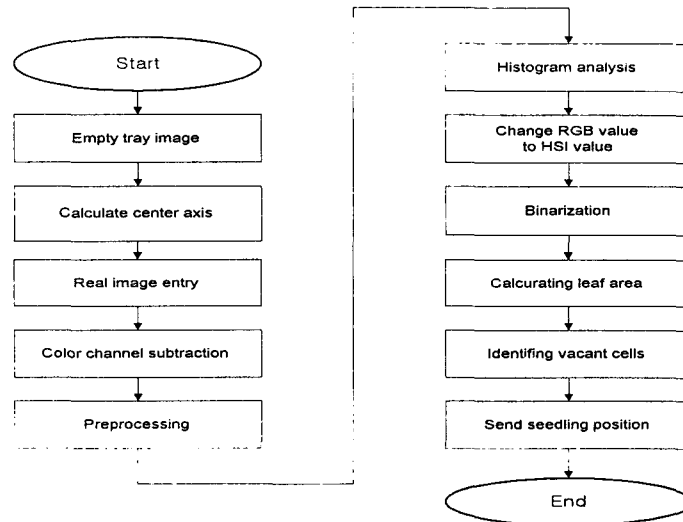


Fig. 2 Algorithm of image processing.

다. 육묘상자 이송장치

육묘상자 이송장치는 컨베이어를 이용하여 육묘상자를 영상처리장치에 공급하고 영상처리가 끝난 육묘상자를 보식 시스템의 기준위치에 공급하도록 구성하였다. 육묘상자 이송장치는 범주개, 컨베이어, 광센서를 이용하여 제작하였다.

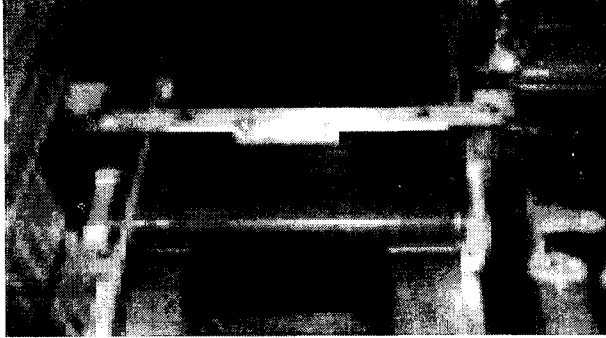


Fig. 3 Photograph of the nursing-tray stopper for the complementary pot-seedling transplanting system.

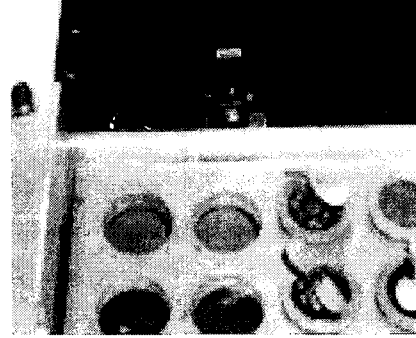


Fig. 4 Photograph of the photosensor.

라. 재배홈통 이송장치

재배홈통 이송장치는 공압실린더를 이용하여 구성하였고 크게 재배홈통 파지부와 재배홈통 이송부로 구성하였다. 재배홈통 파지부는 8개의 박형 실린더를 이용하여 재배홈통을 이송할 때 슬립이 최소가 되도록 재배홈통을 위에서 눌러주고 옆에서 모아주도록 제작하였다. 또한, 이식 시스템의 재배홈통 파지부 및 영상처리장치부의 재배홈통 파지부와 동시에 작동하여 재배홈통 이송이 원활하도록 시스템을 설계·제작하였다. 재배홈통 파지부의 외형을 그림 5에 나타내었다.

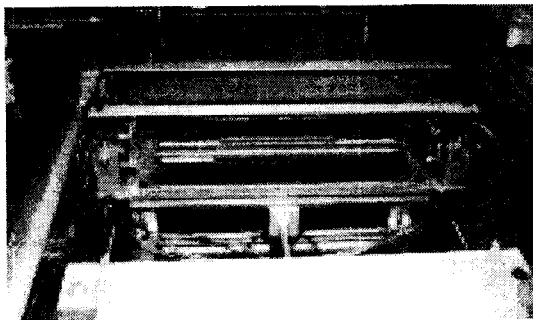


Fig. 5 Photograph of the growing-trough holding system.



Fig. 6 Photograph of the growing-trough conveying system.

재배홈통 이송부는 행정길이의 조절이 가능한 실린더를 이용하여 재배홈통을 차례로 한 칸씩 이송시키는 이식 시스템의 재배홈통 이송장치의 역할과 함께 재배홈통이 보식에 필요한 정

확한 위치에 오도록 제작하였다. 재배흙통 이송부는 하나의 실린더로 보식부와 영상처리부 및 이식부의 재배흙통 파지장치를 동시에 구동할 수 있도록 구성하였으며 재배흙통 파지부가 하나의 프레임에 연결되어 보식작업이 수행되는 정확한 위치를 유지할 수 있도록 구성하였다. 하나의 프레임에 재배흙통 파지부들이 연결되어 있어서 구동에 문제점이 발생하여 영상 처리 시스템의 파지부 하단에 선형운동 가이드를 부착하였다. 재배흙통 이송부의 외형을 그림 6에 나타내었다.

마. 매니플레이터

매니플레이터는 AC 서보모터 2개와 선형운동 가이드를 이용하여 구성하였다. 리미트 스위치를 부착하여 서보모터의 작동범위를 제한하고 양단에 충격을 줄이기 위하여 댐퍼를 부착하였다. X축 AC 서보모터 구동부의 반대편 프레임에 X축이 작동할 때 진동을 최소화시켜 그리퍼가 작동하는데 문제점이 없도록 선형운동 가이드를 부착하였다.

바. 그리퍼

핑거는 작업대상인 육묘포트와 직접적으로 접촉하는 부분으로 육묘포트를 잡고 보식이 필요한 부분까지 이동하는 동안 육묘포트를 놓치지 않도록 탄성을 가져야 한다. 특히, 작업환경이 온실이거나 육묘공장, 또는 식물공장이기 때문에 내부식성과 내환경성을 가지는 재질로 구성하였으며 좁은 공간에서도 작업이 가능하도록 구성하였다.

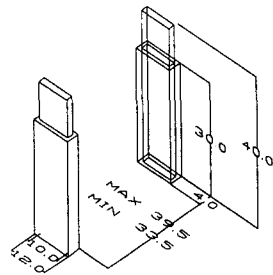


Fig.7 Dimension of the fingers.

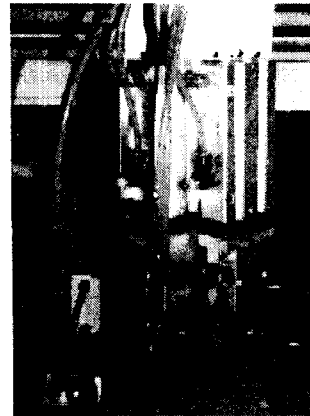


Fig. 8 Photograph of the grippers.

그리퍼는 2중 얇은 막대형 실린더 및 에어척을 이용하여 육묘포트 공급 및 제거용에 사용할 수 있도록 구성하였다. 육묘포트 공급용과 육묘포트 제거용 그리퍼를 동일하게 만들어 작업이 순차적으로 진행될 때 모종에 가능한 손상을 주지 않도록 제작하였다.

사. 제어시스템

보식용 로봇 제어기는 크게 공압용 실린더 구동부, 각종 모터 구동부 및 센서부로 구성되어 있다. 전체 시스템의 제어는 원칩 마이크로프로세서 (PIC16C74)를 이용하여 수행하였다.

육묘상자가 보식 시스템의 초기 위치로 이동하면 다시 기계시각 시스템에 육묘상자가 공급 되고 재배홈통의 이식작업이 3줄 끝나고 이동한 후에 다시 영상을 획득하도록 구성하였다. 재배홈통의 이송은 이식 시스템과 동시에 움직이도록 되어있으므로 한 줄에 이식작업이 끝날 때 보식작업도 하나가 이루어질 수 있도록 하였다. 보식작업이 원활하게 구동될 수 있도록 작업이 제한범위의 마지막 부분에 있을 경우 이식작업을 일시 중지시켰다가 다시 시작하도록 구성하였다. 보식 시스템의 작동순서를 그림 9에 나타내었으며, 중앙 관리 제어용 프로그램은 후에 이식기와 결합을 위하여 Borland사의 Delphi 4.0 client/server version을 이용하여 구성하였으며, 보식제어기와는 RS232통신을 수행하였다.

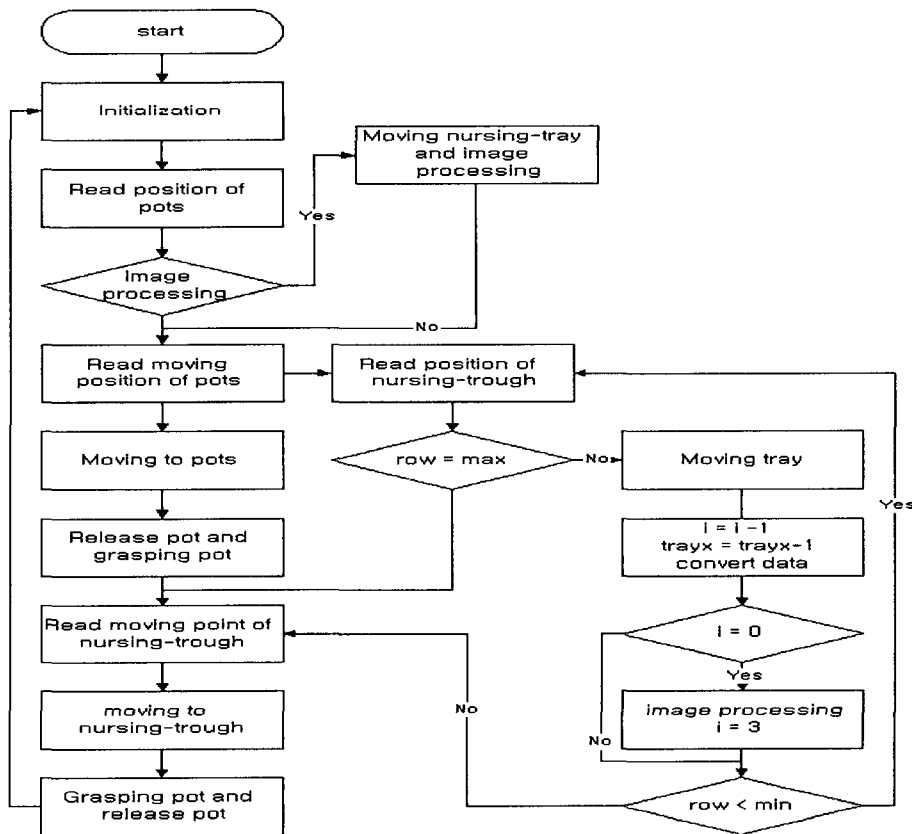


Fig. 9 Flow chart of the complementary pot-seedling transplanting program.

3. 결과 및 고찰

가. 영상처리 성능 평가

영상처리 성능평가를 위하여 무작위로 모종과 결주 및 빈 홀을 만들어 측정하였다. 그림 10은 원 영상이며 이를 이용하여 육묘포트 및 처리하고자 하는 재식판의 영상만을 추출한 영상을 그림 11에 나타내었다. 육묘판은 전체의 영상을 획득하고 재식판은 3줄(18주)의 영상을 취득하였다,

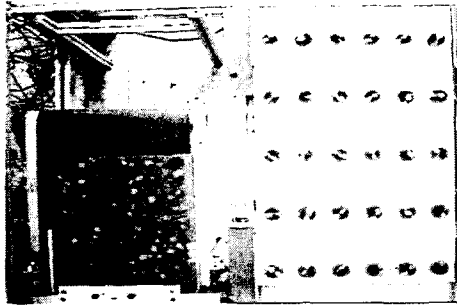


Fig. 10 An image of the nursing-tray and growing-trough(original).

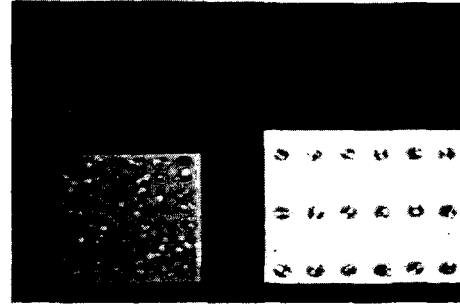


Fig. 11 An image of the nursing-tray and growing-trough (background separated).

영상을 이치화하기 위하여 HSI변환을 수행하였으며 S의 값을 이용하여 이치화한 영상을 그림 12에 나타내었으며, 각 모종의 좌표 위치를 사각형의 셀 영역으로 만들어 모종의 크기를 측정하여 모종의 유무를 그림 13에 나타내었다.



Fig. 12 Binary images of the nursing-tray and growing-trough after HSI processing.
(White portions indicate seedlings)

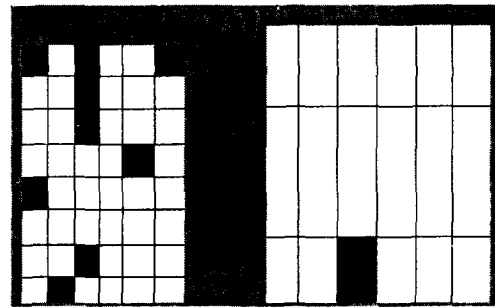


Fig. 13. Segmented binary images of the nursing-tray and growing-trough.
(Black Sectors indicate the cells without seedlings or with bad seedlings)

실제 육묘상자와 재배홈통의 미숙묘와 육묘포트가 빠진 부분과 비교할 때 거의 일치하는 것으로 나타났다. S값을 0에서 255를 기준으로 30일 때 영상의 이치화가 가장 잘 나타났으며 모종의 잎의 형태까지 구분할 수 있었다. 영상처리의 작업시간은 육묘상자와 재배홈통의 각각

의 영상에 대하여 측정하였으며, 육묘상자에서는 1.3초로 나타났고 재배홈통에서도 0.7초로 나타났다.

나. 보식 시스템의 성능평가

보식 시스템 성능시험은 육묘상자 1개(48개 육묘포트)와 재배홈통 6개(60개 육묘포트)를 이용하여 실험하였다. 실제 모종이 담긴 육묘포트를 이용하여 보식 시스템의 성능을 시험하였다. 실험 대상작물로서 육묘공장에서 생산된 본엽이 2~3매인 파종 후 2주가 지난 상추를 사용하였다. 육묘상자에는 육묘시 발생하는 결주 및 불량묘가 담긴 육묘포트의 개수를 임의로 3~7개를 선정하여 배치하였으며, 재배홈통에서는 육묘시 발생하는 결주 및 불량묘가 담긴 육묘포트와 이식 작업시에 발생하는 육묘포트의 누락에 해당하는 육묘포트의 개수를 임의로 12개를 선정하여 배치하였다. 8회 반복해서 측정한 시험결과를 표 1에 나타내었다.

Table 1 Results of the performance test of the complementary pot-seedling transplanting system for two-weeks old seedlings with the missing ratio of 10 percents

	Nursing-tray	Growing-trough	Sum
No. of pots	96	96	192
No. of failures of grasping nursing-pots	0	-	0
No. of failures of putting nursing-pots	-	3	3
Success ratio	100%	96.9%	-
Operating time required			6.88 s/EA

육묘상자에서 그리퍼의 작업 성공률은 100%로 나타났고, 재배홈통에서 그리퍼의 작업 성공률은 96.9%로 나타났다. 실제로 적용되는 작업성공률은 재배홈통에 정확하게 육묘포트를 보식하는 것을 기준으로 선택해야 하기 때문에 보식 시스템의 작업성공률은 96.9%이었다. 작업 시간의 측정은 영상처리 작업이 재배홈통에 대하여 3줄씩 이루어지기 때문에 3줄을 작업하는데 걸린 시간을 기준으로 측정하였다. 3줄을 작업하는데 걸린 시간은 평균 20.7초이고, 하나의 육묘포트를 보식하는데 걸린 작업시간은 6.88초로 나타났다.

다. 보식 시스템 작업모습

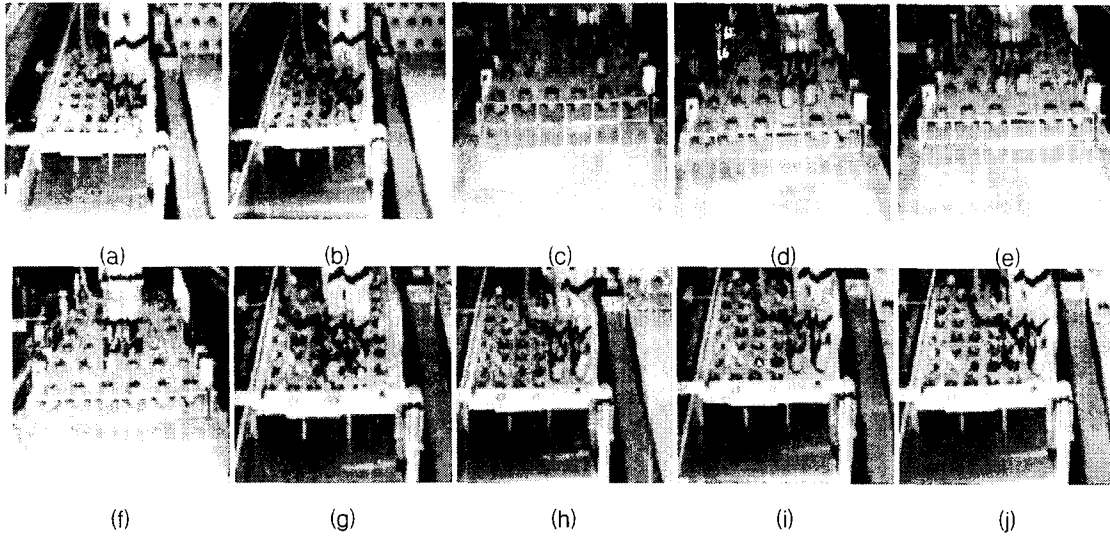


Fig. 14 Photograph of the complementary pot-seedling transplanting system in operation.

4. 요약 및 결론

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

1. 이식작업이 끝난 재배함통에 들어있는 모종의 상태와 보식작업을 위해 공급된 육묘상자의 모종을 판별하기 위하여 기계시각 시스템을 설계·제작하였다.
2. 육묘상자를 이송하기 위한 육묘상자 이송장치와 재배함통을 이송하기 위한 재배함통 이송장치 및 그리퍼를 이동시키는 장치인 X-Y축 직교 로봇을 설계·제작하였다. 또한, 식물공장용 포트묘 보식 시스템에 적절한 핑거의 형상을 결정하고 이에 맞는 그리퍼를 제작하였다.
3. 기계시각 시스템과 육묘상자 이송장치, 재배함통 이송장치, X-Y축 직교 로봇으로 구성된 보식 시스템을 작동시키기 위한 제어 프로그램과 제어를 구성하였다.
4. 육묘상자와 재배함통의 영상처리에 소요되는 시간은 육묘상자에서 1.3초이고 재배함통에서 0.7초로 나타났다. 육묘상자와 재배함통의 결주를 판별하는 영상처리의 정확도는 100%로 나타났다.
4. 개발된 보식 시스템의 작업성능은 재배함통 3조를 작업하는데 20.7초, 1개의 육묘포트를 보식하는데 6.88초가 소요되는 것으로 나타났다.
5. 보식 작업을 수행한 결과 육묘상자에서 그리퍼의 작업 성공률은 100%, 재배함통에서 그리퍼의 작업 성공률은 96.9%로 보식 시스템의 작업 성공률은 96.9%이었다.

5. 참고문헌

1. 김기대, 김정필, 이현동. 1998. 조직 배양체 이식로봇 시스템의 소프트 그리퍼 개발. 한국 농업기계학회 1998년 하계학술대회 논문집.
2. 류관희, 김기영, 이희환, 한재성. 1998. 육묘용 로봇 이식기의 개발(Ⅲ) - 로봇 이식기의 개발 -. 한국농업기계학회 1997년 하계 학술대회 논문집.
3. Hwang, H. and F. E. Sistler. 1986. A robotic pepper transplanter. Applied Engineering in Agriculture 2(1) : 2-5.
4. 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.
5. 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.
6. 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.