

## 육묘용 로봇이식기 그리퍼의 개발 및 이식 성능 평가<sup>+</sup>

# Development of a Gripper for Robotic Transplanter and Evaluation of Its Transplanting Performance

류 관 희\*

김 기 영\*

박 정 인\*

정회원

정회원

학생회원

K. H. Ryu

G. Y. Kim

J. I. Park

### ABSTRACT

A gripper mechanical design using a pneumatic system was developed to successfully grip, hold, and release a seedling plug for transplanting it. The gripper comprised of two air cylinders and shovel-type fingers. The gripper can grasp and hold a seedling by sliding the two fingers attached to the two separate air-cylinders, mounted at an angle of 15°. When releasing a plug, retraction of the fingers gives a seedling little attachment to the gripper. To prevent seedling from attaching to the fingers, press-plates were attached to the end of the gripper.

Transplanting performance of the developed gripper was tested with cucumber seedlings at different soil moisture contents. Overall transplanting performance of developed gripper was higher than the performance of the previously developed gripper. Best transplanting result was achieved at medium level of soil moisture content.

**주요용어(Key Words):** 로봇이식기(Robotic transplanter), 그리퍼(Gripper), 묘(Seedlings)

### 1. 서 론

농촌 노동력의 감소는 시설원에 분야에 있어서 기계화와 자동화를 더욱 필요로 하게 되었다. 이러한 때에 최근 농업의 여러 분야에서 많은 관심을 끌고 있는 로봇을 노동력을 많이 필요로 하는 시설원에 분야에 사용할 경우 작물 재배의 자동화를 통한 소요 노동력 절감 효과를 크게 볼 수 있을 것으로 보인다. 특히 엽채류 및 과채류의 시설재배시 플러그 묘판에 작물을 파종한 후 1~3회 정도 필요한 이식 과정에서 로봇을 이용한 이식기를 사용할 경우 반복적인 작업을 대신함으로써 노동력을 절감시킬 수 있을 것으로 판단된다. 국외의 경우 로봇을 이용한 이식기를 사용하여 노동력을 절감시키려는 연구가 수행

되어 왔는데 Tai 등(1994)은 이식기에 의한 이식 작업 후 남아있는 결주를 기계시각을 이용하여 찾아내고 로봇을 이용하여 빈 자리에 묘를 다시 심는 보식 시스템을 개발하였으며, Ting 등(1990)은 산업용 로봇팔(AdeptOne SCARA type, Adept Technology, Inc., USA)을 사용하여 묘를 이식하는 시스템의 동작을 컴퓨터를 사용하여 분석하였다.

로봇 이식기의 성능은 머니플레이터, 그리퍼 등 이식기의 형상에 따라 크게 좌우된다. 그 중에서도 특히 그리퍼는 직접적으로 묘와 물리적으로 접촉하면서 집어서 옮기는 역할을 하기 때문에 개발된 로봇 이식기의 성능에 가장 결정적인 영향을 미친다. Ting 등(1990)은 결주의 유무를 파악한 뒤 보식하는 로봇시스템의 개발에서 정전용량형 근접센서가 부

<sup>+</sup> 본 논문은 1998년 한국농업기계학회 동계 학술대회에서 발표되었음

\* 서울대학교 생물자원공학부 농업기계전공

착된 sliding-needle 형태의 그리퍼를 사용하여 이식 대상 묘를 집어서 옮겼으며, Kutz 등(1987)은 산업용 로봇(Puma 560, Unimation, Inc)에 parallel-jaw 형태의 그리퍼를 장착하여 토마토묘의 이식 작업을 수행하였다. Simonton(1991)은 산업용 로봇(IRB 1000, ASEA)에 속도와 힘 제어장치를 갖춘 parallel-linkage형의 그리퍼를 부착하여 제라늄 삼목묘를 컨베이어로부터 피해없이 집어 옮길 수 있었다.

로봇 이식기의 이식 성능은 그리퍼의 형상과 같은 장치의 설계에 따라 달라질 뿐만 아니라 이식 대상인 묘의 상태, 그리고 묘가 자라고 있는 상토의 상태에 따라 크게 영향을 받는다. 이식 작업의 효율을 높이기 위하여 여러 가지 형태의 로봇 이식기가 개발되어 왔는데 개발된 이들 이식기의 성능을 평가함에 있어 장치외적인 요인들에 관한 고려를 한 연구는 찾아 보기 힘들다. 이식기의 성능 향상을 위한 새로운 이식기의 개발을 위해서는 이식기 이외에 다른 요인들이 개발된 육묘용 로봇 이식기의 이식 성능에 어떤 영향을 미치는지를 구명할 필요가 있다. 특히 이들 요인중 상토의 상태는 이식 성능에 어떤 영향을 미치는지 아직 구명된 바가 없어 이식기 개발시 개발된 이식기의 성능 평가에 어려움을 주고 있다. 새로운 이식기를 개발하고 이식실험을 통하여 성능을 평가하기 위해서는 상토의 상태와 이식기의 성능 사이의 관계를 구명하고 동일한 상토의 조건하에서 이식기의 성능을 비교 평가하여야 할 것이다.

본 연구는 육묘용 로봇 이식기의 이식 성능 향상을 위한 새로운 그리퍼의 개발을 위하여 수행되었으며, 여러 가지 다른 상토 상태 하에서 개발된 그리퍼의 이식 성능을 평가하였다. 연구의 구체적인 목적은 다음과 같다.

- 1) 플러그묘 이식작업을 적절히 수행할 수 있는 성능이 향상된 그리퍼를 개발한다.
- 2) 개발된 그리퍼의 성능을 이식실험을 통하여 평가한다.
- 3) 상토의 상태 - 토양 함수율 - 에 따른 이식기의 성능을 이식실험을 통하여 평가한다.

## 2. 재료 및 방법

### 가. 로봇 이식기의 장치 구성

본 연구에서 사용된 육묘용 로봇 이식기는 모종을 잡는 그리퍼, 모종을 다른 묘판으로 옮기는 머니플레이터 및 육묘판 이송장치 등으로 구성되어 있다.

머니플레이터는 X, Y, Z 축으로 구성된 3 자유도의 직교좌표형으로서 AC 서보 모터를 구동원으로 하는 slide-bed (S-series, 일정공업주식회사, 일본)를 사용하여 그리퍼를 원하는 작업 위치로 이동시킨다. 머니플레이터의 구동은 컴퓨터에서 머니플레이터의 각 축이 이동할 거리 및 속도를 계산한 후 이를 콘트롤러에 전송하면, 콘트롤러가 이 신호를 slide-bed의 드라이버로 보내 slide-bed의 직선운동을 일으킴으로써 수행된다.

육묘판 이송장치는 이식할 플러그묘판과 이식될 플러그묘판을 로봇 이식기의 작업영역으로 이동시킬 목적으로 사용하였으며 2개의 컨베이어를 사용하여 플러그묘판을 이송한다. 이송장치의 위치제어는 광센서와 멈추개(stopper)를 이용하여 수행하였다.

### 나. 그리퍼 설계

그리퍼는 이식 대상인 묘를 직접 다루는 가장 중요한 장치로 이식작업의 성패를 좌우한다. 개발된 그리퍼는 이식작업시 핑거(finger)를 사용하여 모종을 집는데 핑거는 공압 실린더를 통하여 구동된다. 그리퍼의 구동을 위한 공압 시스템은 공기 압축기(air compressor; HC 020P1TT1, Hundai), 클린 유닛(clean unit; B352Y, KURODA), 솔레노이드 밸브(solenoid valve; VF3120-3H03, SMC), 공압 실린더(air cylinder; CDJ2B10-30-BZR, SMC) 등으로 구성하였다. 실험에 사용된 그리퍼의 핑거는 이 등(1997)의 연구에서 이식작업에 가장 적합한 것으로 나타난 삽(shovel)형 핑거를 사용하였다.

이(1997)의 선행연구에서 개발된 공기척형 그리퍼의 개략적인 메카니즘을 그림 1에 나타내었다. 그림에서 첫 번째 단계는 머니플레이터의 X, Y 축이 모종으로 이동한 상태이고, 두 번째는 머니플레이터의 Z 축이 아래로 내려온 상태이다. 세 번째는 공압 실린더가 작동하여 상토를 찌른 것이고, 네 번째는 공압 척이 작동하여 모종을 잡은 상태이며, 마지막 단계는 머니플레이터의 Z축이 위로 올라간 상태를 나

타낸다. 그 후 머니플레이터는 다시 X, Y 축이 움직여 이식할 플러그묘판으로 이동하고, Z 축이 내려가 공압 실린더가 끌어 당겨지고, 공압 척이 열린 후, Z 축이 다시 올라가 하나의 이식작업을 마치고, 다음 동작을 하게 된다.

이식 작업시 공압 척은 모종을 집는 동작을 공압 실린더는 모종을 뽑아내는 동작을 한다. 이 그리퍼는 이식시 묘를 뿌리 부분이 담겨있는 상태와 핑거 사이의 마찰력을 이용하여 집어 올리기 때문에 뿌리 부분의 상토가 부서질 경우 충분한 마찰력이 발생하지 않아 이식 도중 묘가 핑거에서 빠져 버리는 경우가 많이 발생하였다. 이러한 단점을 없애기 위하여 구조적으로 핑거가 상토를 밑에서 떠받치는 형태의 새로운 그리퍼를 개발하였다.

그림 2에 새로 개발된 경사진 두 개의 공압실린더

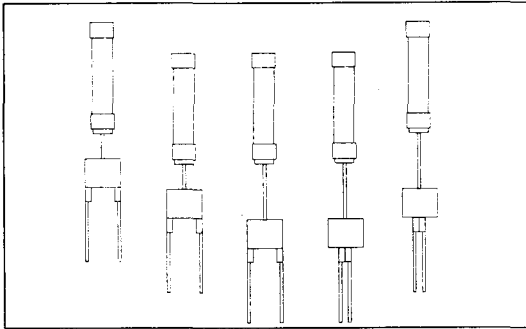


Fig. 1 Procedure of the seedling-transplanting by air-chuck type gripper.

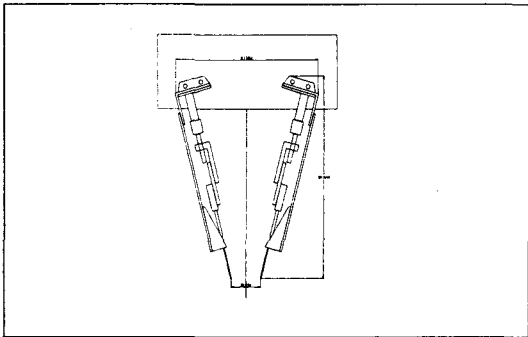


Fig. 2 Schematic drawing of the angled-cylinder type gripper.

(CDJ2B10-30-BZR, SMC)를 사용한 그리퍼의 모양을 나타내었다. 이 등(1997)에 의하여 개발된 그리퍼에서 나타난 이식 후 모종이 핑거에서 잘 빠지지 않는 결점을 개선하기 위하여 실린더 옆에 부가 장치를 부착하였다. 모종에 손상을 가하지 않도록 하기 위하여 부가장치의 밑부분은 그리퍼의 핑거를 감싸는 듯한 형상으로 만들었다.

본 연구에서 개발된 그리퍼에 사용된 공압실린더의 규격은 내경 1cm, 작동행정 3cm, 최대 작동 공기압 7 kg/cm<sup>2</sup>이며, 이 규격의 공압실린더 두 개를 15° 경사지게 설치하여 알루미늄 합금으로 제작한 그리퍼의 크기는 가로 18.1cm, 세로 14.2cm, 두께 3cm였다.

그림 3에 개발된 그리퍼의 작동 메카니즘을 나타내었는데 그리퍼는 공압 실린더를 사용하여 모종을 잡은 후, 머니플레이터의 Z축이 위로 올라가 모종을 플러그묘판에서 뽑아내게 된다.

그림 3의 (a)는 머니플레이터의 X, Y 축이 이동하여 이식하려는 모종으로 움직인 상태이고, (b)는 Z 축이 아래로 내려온 상태, (c)는 공압 실린더가 작동하여 그리퍼가 모종을 잡은 상태이다. 마지막으로 그림 (d)는 Z 축이 위로 움직여 그리퍼가 잡은 모종을 위로 들어올린 것이다. 그 후 머니플레이터의 X, Y 축이 이동하여 그리퍼가 이식하려는 플러그묘판 위로 이동한 후, (d) → (c) → (b) → (a) 순으로 작업하여 모종을 플러그묘판에 내려놓아 하나의 모종에 대한 이식작업을 마치게 된다.

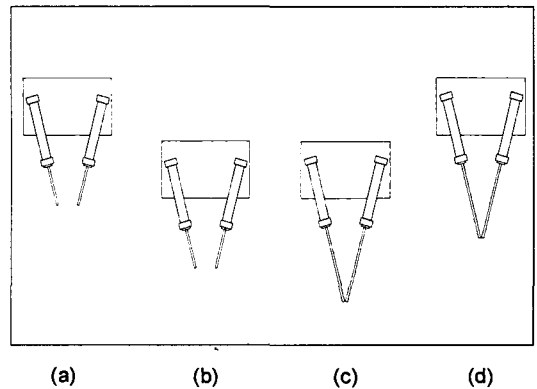


Fig. 3 Procedure of the seedling-transplanting by angled-cylinder type gripper.

다. 이식실험

로봇 이식기에 사용되는 그리퍼의 성능을 개선하기 위하여 새로운 그리퍼를 개발하고 개발된 그리퍼의 성능을 오이묘의 이식 실험을 통하여 기존에 이등(1977)에 의하여 개발된 공기척을 사용한 그리퍼의 성능과 비교 평가하였다. 그리퍼의 이식 성능이 그리퍼의 모양 차이에서 뿐만 아니라 이식 대상인 오이묘의 상토 상태에 따라서도 크게 영향을 받는 것으로 관측되어 각 그리퍼별로 토양 상태에 따른 성능도 함께 비교·평가하였다.

상토의 상태를 결정짓는 여러 요인 중에서 같은 종류의 상토를 사용할 경우 상토의 함수율이 가장 크게 로봇 이식기의 이식 성능에 영향을 미치는 것으로 조사되어 상토의 함수율에 따른 이식 성능의 변화를 조사하였다. 이식 성능과 이식할 모종이 자라고 있는 상토의 함수율과의 관계를 알아보기 위하여 이식하기 전에 모종을 상토의 함수율에 따라 다, 중, 소, 세 수준으로 나눈뒤 이식 실험을 수행하였다. 상토 함수율의 다, 중, 소는 이식 실험을 하기전 3일 전에 물 주기를 그친 상토의 경우 '소', 2일 전에 물 주기를 그만 두었을 경우 '중', 1일 전부터 물을 주지 않은 경우를 '다'로 구분하였다.

실험에 사용한 상토는 피트모스로서 상토의 함수율은 각각의 함수율 수준에서 각각 5개씩의 시료를 채취하여 오븐법에 의하여 측정하였다. 습량 기준으로 나타낸 함수율 수준 '소'의 토양 함수율은 28~48%, '중'은 44~59%, '다'는 55~66% 사이에 분포하는 것으로 나타났으며 각 함수율 수준의 평균 함수율은 '소'가 36%, '중'이 50%, '다'가 61%였다.

이식 실험은 72구의 플러그묘판(폭 27.7 cm, 길이 54.2 cm, 높이 4 cm)에서 파종 후 3주(24일)가 지난

어린 오이묘를 좀 더 넓은 50구의 플러그묘판(폭 28 cm, 길이 54.5 cm, 높이 5 cm)으로 이식하는 방식으로 그리퍼의 이식 성능을 평가하였다. 실험에 쓰인 오이 모종은 백미백다다기(White long)종 이었으며 실험 당시 오이묘는 본엽이 2장 나온 정도로 성장하여 그 크기는 14~16 cm 정도였다.

3. 결과 및 고찰

가. 그리퍼의 이식 실험 결과 및 분석

(1) 공기척형 그리퍼

공기척형 그리퍼의 이식 실험 결과를 표 1에 나타내었다. 실험은 모종을 상토의 수분 함량에 따라 세 종류로 나누어 수행하였으며, 실험 결과를 이식작업이 성공한 것, 그리퍼가 모종을 운반하는 도중에 떨어뜨린 것, 모종을 운반한 후 모종이 그리퍼에서 빠져나오지 못한 것과 그리퍼가 플러그묘판에서 모종을 잡지 못한 것 등으로 구분하여 나타내었다. 실험 결과 상토 함수율이 중간에 해당하는 모종의 이식 효율이 가장 높은 것으로 나타났다. 그러나, 이런 현상은 뿌리가 충분히 발달하지 못하여 근부 플러그형성이 부족하기 때문에 일어난 것으로, 이식시기를 늦추거나 플러그 묘판의 공수가 많은 것을 사용할 경우 개선이 가능할 것으로 사료된다.

(2) 경사진 공기 실린더형 그리퍼

공기 실린더형 그리퍼의 이식 실험 결과를 표 2에 나타내었다. 표에 나타난 실험 결과에서 알 수 있듯이 새로 개발된 그리퍼도 상토 함수율 수준이 '중'에 해당하는 모종에 대해서 가장 좋은 이식 성능을 나타냈으며 공기척형 그리퍼의 실험 결과보다 상토

Table 1 Transplanting performance of the air-chuck type gripper

상토 함수율	성 공	운반도중 떨어진 것	운반 후 안 빠진 것	잡히지 않은 것	합 계	성공율 (%)
다	146	8	4	21	179	81.6
중	129	4	1	19	153	84.3
소	74	7	0	12	93	79.6

함수율의 수준에 따른 이식 성능의 차이가 큰 것으로 나타났다.

(3) 이식 실험 결과 분석

공기척형 그리퍼와 공기실린더형 그리퍼의 실험 결과를 비교해 보면, 상토 함수율 수준 '다' 에서 공기척형은 81.6%, 공기실린더형은 92.0%, 함수율 수준 '중' 에 대해서 공기척형은 84.3%, 공기실린더형은 98.6%, 함수율 수준 '소' 에 대해서는 공기척형은 79.6%, 공기 실린더형은 89.8%로 그림 4에서 보는 바와 같이 모든 함수율 수준에 대하여 공기실린더형

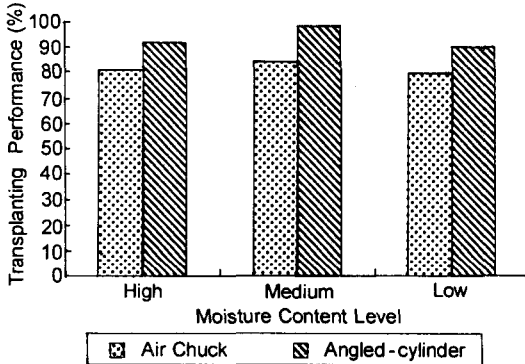


Fig. 4 Transplanting performance of the grippers

그리퍼의 이식 성능이 월등히 뛰어난 것으로 나타났다.

나. 그리퍼의 종류에 따른 이식 성능 비교

두 종의 그리퍼에 대한 이식 실험 결과를 LSD 검정법을 사용하여 분석하였다. 전체 자료를 직교(orthogonal) 비교한 결과를 표 3에 나타내었다.

2종의 그리퍼와 세 수준의 함수율, 각 함수율 별로 세 번 반복 수행한 이식실험 결과를 분산 분석한 결과 전체  $F_s$  값은 11.091로  $F_{0.01(1, 12)}$ 의 값 9.33 보다 크게 나타나 신뢰도 99% 수준에서 공기척형 그리퍼와 공기실린더형 그리퍼의 이식성능이 유의하게 차이가 있는 것으로 나타났으며, 모든 상토 함수율 수준에서 새로 개발한 공기실린더형 그리퍼의 이식 성능이 공기척형 그리퍼의 이식 성능보다 우수함을 알 수 있었다.

다. 토양 함수율과 이식 성능과의 관계

공기척형 그리퍼의 이식 실험을 분석한 결과 95% 유의수준에서 상토 함수율에 따른 이식 성능이 차이가 나타나지 않았다. 공기실린더형 그리퍼의 이식

Table 2 Transplanting performance of the angled-cylinder type gripper

상토 함수율	성 공	운반도중 떨어진 것	운반 후 안 빠진 것	잡히지 않은 것	합 계	성공율 (%)
다	173	5	0	10	188	92.0
중	141	1	0	1	143	98.6
소	106	1	0	11	118	89.8

Table 3 Anova table for the transplanting performance of the grippers

SV	df	df	SS	MS	Fs
군간	v-1	5	866.851	173.370	2.711
	공기척형 : 공기실린더형	1	709.389	709.389	11.091
오차	sum (r <sub>j</sub> ) - v	12	767.507	63.959	
전체	sum (r <sub>j</sub> ) - 1	17	1,634.358		

실험을 분석한 결과 상토 함수율 '중'과 '다', '소' 사이의 이식률은 95% 신뢰도에서 차이가 있었다.

상토의 수분 함량에 따른 이식 성능의 차이는 Ekwue과 Stone(1995)의 연구 결과에 나타난 바와 같이 토양의 강도가 토양 함수율이 증가함에 따라 증가하다가 어떤 정점에 다다르면 다시 감소하는 경향을 보이는데서 기인한다고 사려된다. 즉, 토양 함수율이 '중'일 때, 토양의 구조가 비교적 단단하여서, 핑거의 압축력이나, 로봇이식기의 진동이 뿌리부의 상토에 작용하더라도, 흙이 이식 도중에 부서지지 않아 이식 성능이 높게 나타난 것으로 판단된다.

위에서 나타난 상토에 따른 이식 성능의 차이가 이식묘의 뿌리 길이 차이로 인한 토양 조직의 강도 차이에서 기인한 것이 아닌지 확인하기 위하여 각 상토 함수율 수준에 따른 뿌리 길이 차이를 조사하였다. 분산 분석 결과 상토 함수율 수준에 따른 뿌리 길이의 차이는 나타 내지 않았으며, 상토 함수율이 '다', '중', '소' 일 때 각 함수율 수준별로 5개씩 측정 한 이식묘의 뿌리 길이 평균값은 각각 188.51, 185.2, 181.04 cm였다.

#### 4. 요약 및 결론

본 연구는 육묘용 로봇 이식기의 그리퍼의 성능 개선을 목적으로 수행되었으며, 그 결과는 다음과 같다.

(1) 그리퍼 성능을 개선하기 위하여 두 개의 공기 실린더를 경사지게 배치한 새로운 그리퍼를 개발하였다. 새로 개발된 공기실린더형 그리퍼와 기존에 개발된 공기척형 그리퍼를 이용하여 상토 함수율에 따라 모종을 다, 중, 소로 분류한 뒤 성능 평가를 수행하였다. 이식 성능 평가 결과 99% 수준에서 새로 개발된 그리퍼가 종전의 그리퍼 보다 성능이 우수한 것으로 나타났다.

(2) 공기척형 그리퍼의 이식 실험 결과를 분산 분석한 결과 95% 유의수준에서 토양 함수율에 따른 이식 성능의 유의한 차이가 나타나지 않았다. 따라

서, 공기척형 그리퍼를 사용할 경우 토양 함수율에 따른 이식 실패율 보다 그리퍼에 의한 이식 실패율이 많아 수분에 따른 이식 성능의 차이가 두드러지지 않았다.

(3) 공기실린더형 그리퍼의 이식 실험 결과를 분산 분석한 결과에 따르면 새로 개발된 그리퍼는 95% 신뢰도에서 토양 수분에 따른 이식률의 차이가 있는 것으로 나타났다. 또한 토양 수분 수준이 '중'일 때 (함수율 44~59%) 토양 수분 수준 '다' (함수율 55~66%)나 '소' (함수율 28~48%) 일 때 보다 이식 성능이 좋은 것으로 나타났다.

#### 참 고 문 헌

1. 이희환. 1997. 육묘용 로봇 이식기의 개발(II) - 이식 그리퍼. 한국농업기계학회지 22(3):325-332.
2. Ekwue, E. I. and R. J. Stone. 1995. Organic matter effects on the strength properties of compacted agricultural soils. Transaction of the ASAE. vol. 38 (2):357-365.
3. Kutz, L. J., G. E. Miles, P. A. Hammer and G. W. Krutz. 1987. Robotic Transplanting of Bedding Plants. Transaction of the ASAE. vol. 30(3):586-590.
4. Simonton, W. 1991. Robotic end effector for handling greenhouse plant material. Transactions of the ASAE. vol. 34(6):2615-2621.
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, S. J. Shen and W. P. Kabala. 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.