

# 육묘용 로봇이식기 그리퍼의 개발 및 토양 상태에 따른 성능 평가

## Development of an Gripper for Robotic Transplanter and The Effect of Soil Condition upon the Transplanting Performance

류 관희*	김 기영*	박 정인*
정 회원	정 회원	
K.H.Ryu	G.Y.Kim	J.I.Park

### 1. 서 론

최근 농촌 노동력의 감소는 시설원에 분야에 있어서 기계화와 자동화를 더욱 필요로 하게 되었다. 최근 농업의 여러분야에서 많은 관심을 끌고 있는 로봇의 사용으로 시설원예의 자동화를 더욱 발전시킬 수 있을 것으로 보인다. 특히 플러그묘판에 작물을 파종한 후 1~3회 정도 필요한 엽채류 및 과채류의 이식 과정에서 로봇을 이용한 이식 시스템을 사용할 경우 반복적인 작업을 대신함으로써 노동력을 절감시킬 수 있을 것으로 판단된다. 로봇을 이용한 이식장치를 사용하여 노동력을 절감시키려는 연구가 수행되어 왔는데 Tai 등(1994)는 이식 시스템에 의한 이식 작업후 남아 있는 결주를 기계시각을 이용하여 찾아 내고 그 자리에 묘를 다시 심는 보식시스템을 개발하였으며, Ting 등(1990)은 정전용량형 근접센서를 로봇이식기의 그리퍼에 부착하고 이를 이용하여 결주의 유무를 파악한 뒤 보식하는 시스템을 개발하였다. Kutz 등(1987)은 parallel-jaw 모양의 그리퍼를 장착한 산업용 로봇(Puma 560, Unimation, Inc)을 사용하여 토마토묘의 이식 작업을 수행하였다. Simonton(1991) 역시 산업용 로봇(IRB 1000, ASEA)을 사용하여 제라늄 삼목묘를 컨베이어에서 집어 옮기는 작업을 수행하였는데 속도와 힘 제어장치를 갖춘 그리퍼를 사용함으로써 작업 대상인 제라늄 삼목묘의 피해를 줄일 수 있었다.

로봇 이식기의 성능은 머니플레이터, 그리퍼등 이식시스템의 형상에 따라 영향을 받을 뿐만 아니라 이식 대상인 묘의 상태, 그리고 묘가 자라고 있는 상토의 상태에 따라 크게 영향을 받는다. 이식 작업의 효율을 높이기 위하여 여러 가지 형태의 로봇이식기가 개발되어 왔는데 아직까지는 개발된 이식 시스템의 성능을 객관적으로 비교 평가하는 지표가 설립되어 있지 않다. 이식 시스템의 성능 향상을 위한 이식 장치의 개발을 위해서는 이식 장치를 제외한 다른 요인들이 이식기의 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 이식 실험을 통하여 성능을 평가하기 위해서는 상토의 상태와 이식기의 성능 사이의 관계를 구명하고 동일한 상토의 조건하에서 이식기를 비교 평가하여야 할 것이다.

\* 서울대학교 생물자원공학부 농업기계전공

본 연구는 육묘용 로봇 이식기의 그리퍼 성능을 개선하기 위한 일환으로 그리퍼의 개발 및 그리퍼의 성능에 미치는 상토 상태의 영향을 파악하는데 그 목적이 있다. 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 상태에 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 구동원으로는 slide-bed(S-series, 일정공업주식회사, 일본)를 사용하였다. 머니플레이터의 구동은 컴퓨터에서 머니플레이터의 각 축이 이동할 거리 및 속도를 계산한 후 이를 컨트롤러에 전송하면, 컨트롤러가 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 핑거를 사용하여 모종을 잡는데 핑거는 공압 실린더를 통하여 구동된다. 그리퍼의 구동을 위한 공압 시스템은 공기 압축기(air compressor), 클린 유닛(clean unit), 솔레노이드 밸브(solenoid valve), 공압 실린더 등으로 구성하였다. 실험에 사용된 그리퍼의 핑거는 이 등(1997)의 연구에서 이식작업에 가장 적합한 것으로 나타난 삽(shovel)형 핑거를 사용하였다.

그림 1에 새로 개발된 경사진 두 개의 공기실린더를 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 밀부분은 그리퍼의 핑거를 감싸는 듯한 형상으로 만들었다.

그림 2에 개발된 그리퍼의 작동 메카니즘을 나타내었는데 그리퍼는 공압 실린더를 사용하여 모종을 잡은 후, 머니플레이터의 Z축이 위로 올라가 모종을 플러그묘판에서 뽑아내게 된다.

그림 2의 (a)는 머니플레이터의 X, Y 축이 이동하여 이식하려는 모종으로 움직인 상태

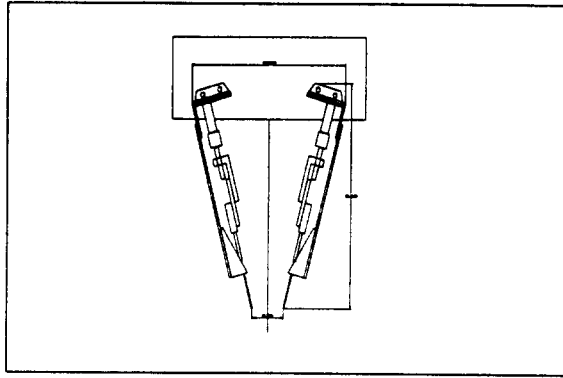


Fig. 1. Schematic drawing of the angled-cylinder type gripper.

이고, (b)는 Z 축이 아래로 내려온 상태, (c)는 공압 실린더가 작동하여 그리퍼가 모종을 잡은 상태이다. 마지막으로 그림 2의 (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.

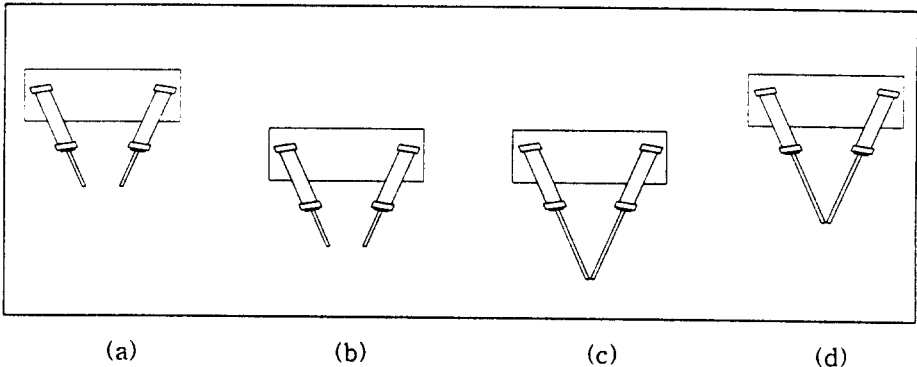


Fig. 2. Procedure of the seedling-transplanting by angled-cylinder type gripper.

#### 다. 이식실험

로봇 이식기에 사용되는 그리퍼의 성능을 개선하기 위하여 새로운 그리퍼를 개발하고 개발된 그리퍼의 성능을 오이묘의 이식 실험을 통하여 기존에 이 등(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 판단되어 각 그리퍼별로 토양 상태에 따른 성능도 함께 비교·평가하였다.

상토의 상태를 결정짓는 여러 요인 중에서 같은 종류의 상토를 사용할 경우 상토의 함수율이 가장 크게 로봇이식기의 이식 성능에 영향을 미치는 것으로 관찰되어 상토의 함수율에 따른 이식 성능의 변화를 조사하였다. 이식 성능과 이식할 모종이 자라고 있는 상토의 함수

올과의 관계를 알아보기 위하여 이식하기 전에 모종을 상토의 수분함량에 따라 다, 중, 소, 세 수준으로 나누어 이식에 알맞은 상토의 함수율을 조사하기 위한 실험을 수행하였다. 상토 함수율의 다, 중, 소는 이식 실험을 하기전 3일 전에 물주기를 그친 상토의 경우 '소', 2일 전에 물주기를 그만두었을 경우 '중', 1일 전부터 물을 주지 않은 경우를 '다'로 구분하였다.

이식 실험은 72구의 플러그묘판에 파종하여 파종 후 3주가 지난 어린 오이묘를 좀 더 넓은 50구의 플러그묘판으로 이식하는 방식으로 그리퍼의 이식 성능을 평가하였다.

#### 4. 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, 그 결과는 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.

Table 1. Transplanting performance of the air-chuck type gripper

상토 함수율	성공	운반도중 떨어진것	운반후 안 빠진 것	잡히지 않은 것	합계	성공율 (%)
다	146	8	4	21	179	81
중	129	4	1	19	153	84.3
소	74	7	0	12	93	79.6

###### (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 함수율이 중간 정도에 해당하는 모종에 대해서 가장 좋은 이식 성능을 나타냈다. 그러나, 공기척형 그리퍼의 실험 결과와는 달리 상토 함수율의 수준에 따른 이식 성능의 차이가 큰 것으로 나타났다.

Table 2. Transplanting performance of the angled-cylinder type gripper

상토 함수율	성공	운반도중 떨어진것	운반후 안 빠진 것	잡히지 않은 것	합계	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

###### (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%, 공기실린더형은 89.8%로 그림 3에서 보는 바와같이 모든 습도 수준에 대하여 공기실린더형 그리퍼의 이식 성능이 월등히 뛰어난 것으로 나타났다.

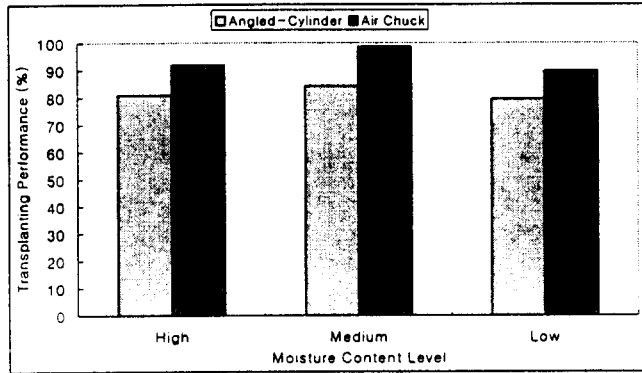


Fig. 3. Transplanting performance of the grippers.

두 종의 그리퍼에 대한 이식 실험 결과를 LSD검정법을 사용하여 분석하였다. 전체 자료를 직교 비교한 결과를 표 3에 나타내었다.

공기척형 그리퍼와 공기실린더형 그리퍼의 이식실험 분석 결과 신뢰도 99% 수준에서 유의성이 있으며, 모든 상토 함수율 수준에서 공기실린더형 그리퍼의 이식 성능이 공기척형 그리퍼의 그것보다 우수함을 알 수 있었다.

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
	1형 : 2형	1	709.389	709.389	11.091
오차	sum(r <sub>i</sub> )-v	12	767.507	63.959	
전체	sum(r <sub>i</sub> )-1	17	1634.358		

#### 나. 토양 함수율과 이식 성능과의 관계

상토 함수율 수준 다, 중, 소의 함수율 측정 결과 함수율 수준 '소'의 토양 함수율은 28~48%, '중'은 44~59%, '다'는 55~66% 사이에 분포하는 것으로 나타났다.

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

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

## 5. 요약 및 결론

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

1. 그리퍼 성능을 개선하기 위하여 두 개의 공기실린더를 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. 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. 따라서 공기척형 그리퍼를 사용할 경우 토양 그리퍼에 의한 이식 실패율이 많아 수분에 따른 이식 성능이 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 나타났으며, 토양 수분 수준이 '중'일 때 (함수율 44~59%) 토양 수분 수준 '다'(함수율 55~66%)이나 '소'(함수율 28~48%)일 때 보다 이식 성능이 좋은 것으로 나타났다.

## 6. 참고 문헌

1. 이회환. 1997. 육묘용 로봇 이식기의 개발(II)-이식 그리퍼. 한국농업기계학회지 22(3):325-332
2. Kutz, L. J., G. E. Miles, P. A. Hammer, G. W. Krutz. 1987. Robotic Transplanting of Bedding Plants. Transaction of the ASAE. vol.30(3):586-590
3. Simonton, W. 1991. Robotic end effector for handling greenhouse plant material. Transactions of the ASAE. vol.34(6):2615-2621
4. 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
5. Ting, K. C., G. A. Giacomelli, S. J. Shen, W. P. Kabala. 1990. Robot Workcell for transplanting of seedlings Part II - End-Effector Development. Transactions of the ASAE. vol.33(3):1013-1017.