

# 보행형 배추정식기 개발

## Development of Walking type Chinese Cabbage Transplanter

박석호\*    김진영\*    최덕규\*    김충길\*    곽태용\*    조성찬\*\*  
정회원    정회원    정회원    정회원    정회원    정회원  
S. H. Park    J. Y. Kim    D. K. Choi    C. K. Kim    T. Y. Kwak    S. C. Cho

### 1. 서론

배추정식작업은 인력에 의존하고 있으며, 노동투시간은 18.4시간/10a이 소요되어 전체노동시간의 18.7%를 차지하고 있다. 배추정식작업은 허리를 깊게 구부린 상태로 계속적인 반복 작업을 하여야 하고 단기일에 고도 집약적인 노동력을 필요로 하기 때문에 일찍부터 기계화의 필요성이 강조되어 왔다. 또한 농업인구의 급격한 감소로 농촌 노임이 상승되어 생산비 절감을 위해서는 정식작업의 기계화가 더욱 절실한 실정이다.

본 연구에서는 인력에 의존하고 있는 배추정식작업의 생력기계화를 촉진하기 위하여 보행형 배추정식기를 개발하고자 수행하였다. 3차원 동역학해석프로그램을 이용하여 각부장치의 작동상태와 운동을 분석하고, 핵심장치의 성능을 검증한 후 시작기를 설계 제작하여 포장시험을 실시하였다.

### 2. 재료 및 방법

#### 가. 각부장치 운동분석

배추정식기의 핵심장치인 모 취출장치와 식부장치의 운동분석은 동역학해석 프로그램(RecurDyn Ver. 5.24)을 이용하였다. 운동분석방법은 모 취출장치와 식부장치를 3차원 설계 프로그램(IDEAS Ver. 11)으로 설계하여 UG파일로 변환시킨 다음, RecurDyn프로그램의 Para Solid로 변환시켰다. 강체로 정의된 각각의 파트를 Joint, Contact, Force등의 명령을 입력하여 운동분석을 실시하였다. 분석된 결과는 궤적, 변위, 속도, 가속도로 출력 가능하지만 본 연구에서는 시작기를 제작하기 전에 기계장치가 의도한 대로 작동하는지 확인하고자 취출장치는 취출궤적과 속도를 분석하였으며, 식부장치는 배추정식기가 정지상태와 주행할 때의 식부궤적과 속도를 분석하였다.

#### 나. 각부장치 운동검증

모 취출장치의 성능검증은 이송장치에 따른 모 취출률을 조사하여 성능을 검증하였다. 모 이송장치는 편을 육묘트레이에 밑에 삽입하여 이송하는 홰편체인이송 방식과 육묘트레이 양쪽 테두리의 구멍을 이용하여 래치로 이송하는 래치이송 방식을 비교하여 모 취출률을 조사하였다. 성능시험에 사용한 묘는 파종후 20~25일 기른 묘가 정식하기에 가장 적합하다고 보고된 바 있어 노란자배추로 육묘일수가 23일, 초장이 5~8cm, 주당 엽수가 5~6개인 묘를

\* 농촌진흥청 농업공학연구소

\*\* 충북대학교 바이오시스템공학과

사용하였다. 식부장치의 성능검증은 복합 4절 링크방식의 식부장치를 제작하여 원형 회전토 조에서 성능시험을 실시하였다. 고속카메라로 측정된 결과는 동영상해석 프로그램(Motion Plus)을 이용하여 식부궤적, 속도를 분석하였다. 분석한 결과는 동역학해석 프로그램(RecurDyn)을 이용하여 분석한 결과와 비교하여 식부장치의 성능을 검증하였으며, 배추묘를 식부호퍼에 투입하여 배추묘의 식부자세도 조사하였다.

#### 다. 시작기 설계

시작기는 배추정식기가 회전할 때 생기는 개자리를 없앨 수 있고 필지규모가 작은 농가에서도 이용이 가능하도록 보행형으로 설계하였으며, 보행 이양기를 동력원으로 사용할 수 있도록 하여 생산비용을 줄일 수 있도록 설계하였다. 시작기의 동력원은 국제종합기계에서 보급하고 있는 보행이양기(모델명:PR-4)의 엔진, 미션, 주행장치를 이용할 수 있도록 설계하였다. 이양기에 채택된 기체수평 자동제어방식을 이용하여 두둑중앙에 일정한 깊이로 모를 심을 수 있도록 설계하였다.

시작기는 조건 60cm, 주간 30~40cm의 등근두둑 1열재배로 설정된 표준재배양식을 기준으로 설계하였다. 시작기는 그림 1과 같이 모 이송장치, 모 취출장치, 식부장치, 복토진압장치, 동력전달장치 등으로 구성된다. 시작기는 128공 플러그 육묘트레이를 이용하여 모 취출, 식부, 복토진압 작업이 일관작업 될 수 있도록 설계하였다. 시작기의 주요제원은 표 1과 같다.

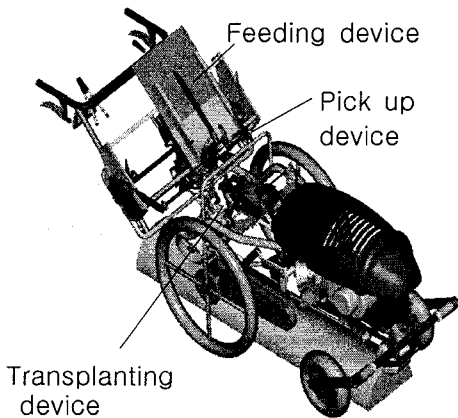


Fig. 1 Picture of the prototype

Table 1 Specification of the prototype

Items	Specification
Size(L×W×Hmm)	2,100×812×1,000
Weight(kg)	220
Row space(cm)	60, 70, 80, 90
Wheel diameter(mm)	600
Ground clearance(mm)	100/300
Inclination control range(°)	±5
Hill space(cm)	30, 35, 40, 45
Working speed(m/sec)	0.2~0.3

### 3. 결과 및 고찰

#### 가. 모 취출장치 성능시험

그림 2와 3은 동역학해석 프로그램을 이용하여 모 취출장치의 궤적과 집게선단의 속도를 나타낸 것이다. 취출궤적은 육묘트레이에서 모를 뽑아내는 구간에서는 직선슬라이더에 의하여 60mm 직선운동을 한 다음 곡선슬라이더에 유도되어 취출장치가 아랫방향으로 자세를 회전하면서 곡선궤적을 형성하였다. 그림 3은 취출장치가 1회전할 때의 집게선단의 X, Y, Z 및 X+Y+Z방향의 속도를 나타낸 것이다. 상토로 삼입되는 순간의 집게의 삼입속도는 0.4m/s에서

서서히 감소하였으며, 묘를 집는 속도는 0.3m/sec에서 서서히 감소하였다. 0.3초 이후에는 집계 방향이 바뀌어 최대 1.7m/sec까지 증가했다가 다시 감소하는 것으로 나타났다.

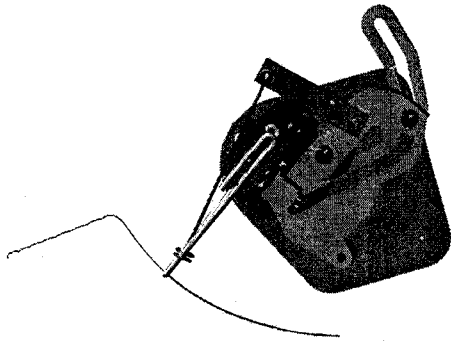


Fig. 2 Loci of pick up device

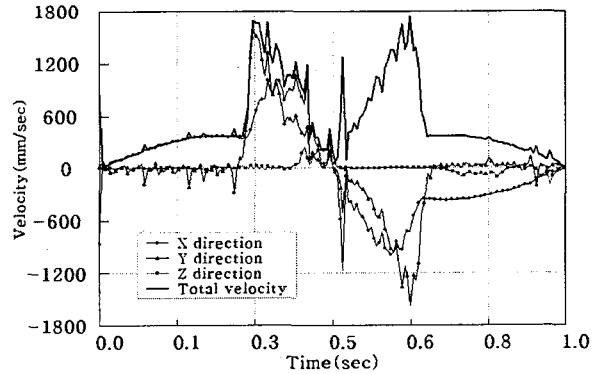


Fig. 3 Velocity of pick up device

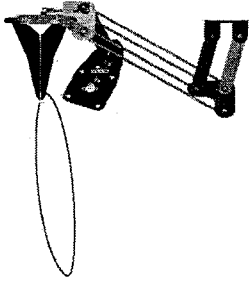
홀핀체인이송 방식은 육묘트레이 밑에 핀을 삽입하여 이송시키면서 육묘트레이를 등글게 말아 뒤쪽으로 배출하는 방식이다. 이 방식의 이송장치는 육묘트레이의 첫줄과 마지막줄까지의 이송오차가 5mm가 발생되어 모 취출장치의 삽입위치가 육묘트레이의 첫줄에서는 상토중양에 있다가 마지막줄에서는 상토의 상부에서 모를 취출하기 때문에 모 취출률이 96.0%로 다소 낮게 나타났다. 반면에 래치이송방식은 육묘트레이의 양쪽테두리에 있는 홈을 래치로 당겨 이송하기 때문에 이송오차가 발생되지 않았기 때문에 모취출률이 99.2%로 높게 나타났고 상토가 파손되는 경우도 없는 것으로 나타났다.

Table 2 Seedling status of Chinese cabbage

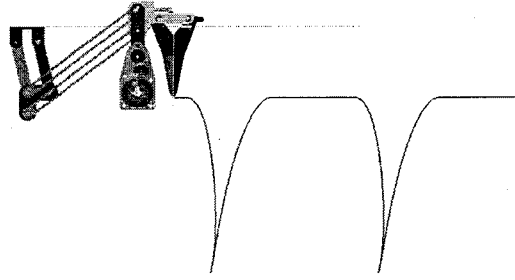
Feeding type	No. of picking up(hill)	No. of false(hill)	Number of failure(No.)		Ratio of picking up (%)
			soil brakeage	leaf damage	
Hole pin chain	128	5	5	2	96.0
Latch	128	1	-	2	99.2

#### 나. 식부장치 운동분석 및 성능검증

그림 4는 동역학해석 프로그램을 이용하여 식부장치가 제자리에서 회전할 때와 주행할 때의 식부궤적을 나타낸 것이다. 정지시의 식부궤적은 타원형의 식부궤적을 형성하는 것으로 나타났으며, 이 궤적의 장변의 길이는 링크 A와 링크 B의 길이를 합친 340mm, 단변의 길이는 링크 A와 링크 B의 길이차의 2배인 50mm로 나타났다. 배추정식기가 0.3m/sec로 주행하는 것으로 가정하여 식부장치의 운동을 분석했을 때의 식부궤적을 나타낸 것이다. 직선궤적은 취출장치로부터 모를 공급받기 위하여 식부장치가 0.5초 동안 회전하지 않는 구간이며, 곡선으로 나타난 구간은 타원형의 궤적으로 회전하는 구간을 나타낸 것이다. 식부호퍼가 토양속으로 삽입된 상태인 궤적의 하단부에서는 식부궤적이 중첩되어 나타났기 때문에 식부호퍼가 토양속에서 끌리거나 밀리지 않을 것으로 판단된다.



(a) Traveling speed=0.0m/sec



(b) Traveling speed=0.3m/sec

Fig. 4 Loci of transplanting device

## (2) 식부장치 성능검증

그림 5는 원형 회전토조에 식부장치를 부착하고 고속카메라로 측정된 식부속도와 동역학 해석 프로그램으로 운동분석한 식부속도를 비교한 그림이다. 식부장치의 속도는 모를 취출 장치로부터 공급받는 동안인 0.5초까지는 식부장치가 정지하고 있다가 나머지 0.5초 동안 1회전하여 최대 2.1m/sec의 속도로 회전하는 것으로 나타났다. 식부호퍼가 토양속으로 삽입되는 순간은 1.0m/sec의 속도로 나타났다.

원형회전토조에서 측정된 식부속도와 동역학해석 프로그램으로 분석한 식부속도는 거의 차이가 없는 것으로 나타났다. 식부호퍼가 토양속에서 모를 놓는 순간에서는 식부속도가 0.4m/sec로 작아져 모를 안정적으로 심을 수 있을 것으로 생각된다. 모의 식부상태는 식부호퍼가 토양속에서 밀리거나 끌리지 않았기 때문에 식부호퍼의 잔공이 넓어지는 현상은 발생하지 않았으며, 구멍안에 모가 정확하게 심겨지는 것으로 나타났다.

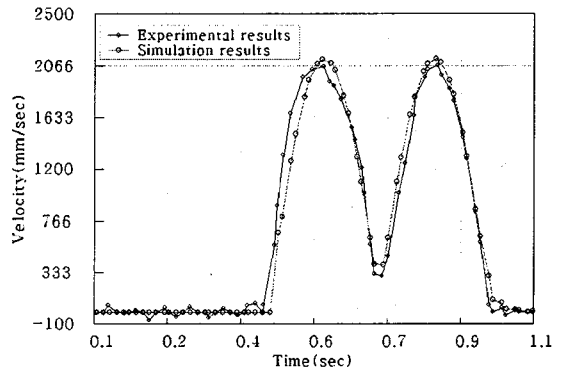


Fig. 5 Velocity of transplanting device

## 다. 포장시험

시작기의 작업성능은 표 3과 같이 2.2시간/10a으로 나타났다. 시작기의 작업속도는 보행이양기의 작업속도인 0.25m/sec, 정식시간 1.2시간/10a, 선회시간은 0.4시간/10a, 모 공급시간은 0.6시간/10a이 소요되는 것으로 나타났다.

Table 3 Working performance of prototype

Working speed(m/sec)	Transplanting time(hr/10a)	Turning time (hr/10a)	Time of exchanging seedling tray(hr/10a)	Total working time(hr/10a)
0.25	1.2	0.4	0.6	2.2

시작기의 작업상태 표 4와 같이 비닐을 피복하지 않은 경우와 비닐을 피복한 경우에 대하여 조사하였다. 모의 식부자세는 무피복과 비닐피복의 경우에 85~95°로 거의 수직으로 심겨

진 것으로 나타났다. 배추모의 결주의 기준은 상토가 토양속으로 삼입되지 않고 두둑위로 올라온 것을 결주로 간주했다. 시작기의 결주율은 무피복인 경우 3.0%, 비닐피복인 경우 2.2%로 나타났으나 이 차이는 비닐피복과 무피복의 차이로 발생한 것이 아니라 육묘트레이에서 모의 뿌리발육 상태가 좋지 않은 경우에 발생한 것으로 나타났다. 모의 뿌리발육이 좋지 않은 경우는 취출장치로 모를 뽑을 때 뽑히지 않거나 모가 가벼워 식부호퍼에 투입되었을 때 식부호퍼 속으로 깊게 들어가지 못하기 때문에 모가 두둑위로 다시 올라오는 경우가 발생하였다. 결주율을 줄이기 위해서는 기계정식용 육묘기술 개발에 관한 연구가 필요할 것으로 생각된다.

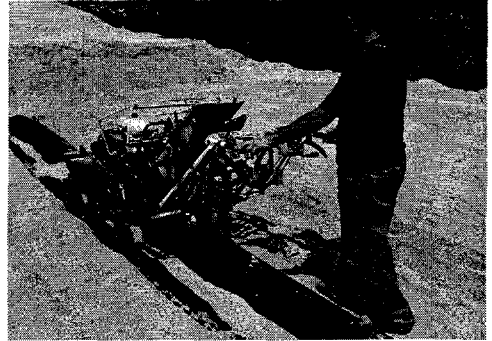


Fig. 6 Picture of field testing

Table 4 Working status of prototype

Item	Hill spacing(cm)	Transplanting posture(°)	Missing rate(%)
No mulching	35	85~95	3.0
Vinyl mulching	35	85~95	2.2

#### 4. 요약 및 결론

(1) 2.4마력의 보행 이양기의 기본구조를 이용하여 보행 1조식 배추정식기를 개발하였다.

(2) 묘 취출장치의 성능은 묘이송장치의 오차에 따라 좌우되는 것으로 나타났으며, 취출성 공률은 홑편체인 이송방식을 이용할 경우 96.0%, 래치이송방식에서 99.2%로 나타나 래치이송방식으로 시작기를 제작하였다.

(3) 식부장치는 복합 4절 링크방식으로 타원형의 식부궤적을 형성되었으며, 토양속에서 식부호퍼가 끌리거나 밀리는 현상이 없고 모의 식부상태도 좋게 나타났다.

(4) 시작기의 작업상태는 비닐피복 및 무피복 상태에서 작업이 가능한 것으로 나타났으며, 결주율은 2.2~3.0%로 나타났으며, 작업성능은 2.2시간/10으로 관행에 비하여 88% 절감이 가능한 것으로 나타났다.

#### 5. 참고문헌

1. Choi, W. C., D. C. Kim and K. U. Kim. 2001. Development of a Pick-up Device for Plug-Seedlings. Journal of the KSAM. 26(5):415~422. (In Korean)
2. Gyeongsang National University. 1995. Development of a System for the Mass Production of Uniform Seedling for Horticulture. Rural Development Administration:26~34. (In Korean)
3. National Agricultural Mechanization Research Institute. 2001. Development of Integrated Mechanization System for Chinese Cabbage Cultivation. Ministry of Agriculture & Forestry:7~56. (In Korean)