배추 자동정식기의 개발

Development of an Automatic Transplanter for Cabbage Cultivation

김학진*, 박석호*, 곽태용*
H.J. Kim , S.H. Park, T.Y. Kwak

Abstract

An automatic transplanter was developed for planting chinese cabbage. The automatic transplanter is mainly composed of a pick-up system, a planting system, and a feeding system for cabbage seedlings. A dynamic simulation software, ADAMS was used to investigate the kinematic characteristics of the pick-up and planting system. The criteria of designing plug tray were proposed to use both 128-cell and 200-cell plug trays for the feeding system. The accuracy of the pick-up system was evaluated in the laboratory and the rate of successful picking was 99.5% for 20-day-old cabbage seedlings. The performance of the prototype was tested with cabbage seedlings and showed that the pick-up system correctly separated the cabbage seedling from the tray one by one and planted it in the soil with a maximum failure of 3.5%.

1. 서 론

채소류 중에서 배추는 우리의 주요 먹거리인 김치의 주원료이며 재배면적은 44,674ha('99년)로 전체 채소면적의 12%를 차지하고 있다. 배추 수요는 김장김치를 담그는 시기에 대량 소비되었던 종전의 소비패턴과는 달리 냉장고의 이용이 보편화된 80년대부터는 연중 소비되고 있으며, 김치 수출이 본격화되면서 김치의 생산도 연중 이루어지고 있다. 배추 재배는 경운 및 방제 작업을 제외하면 아직까지 대부분 인력에 의존하고 있는 실정으로 총 노동투하량은 105.6시간/10a(농진청, 1999) 소요되고 있으며, 이 중 정식작업은 15.8시간으로 전체의 15%를 차지하고 있다. 정식작업은 허리를 구부린 상태로 반복작업을 해야 하기 때문에 작업이 힘들어 일찍부터 기계화의 필요성이 강조되어왔으나 관련 분야의 연구개발은 미진한 상태이다.

국내의 경우, 인력으로 모를 공급하고 기계로 정식하는 반자동 정식기가 이용되고 있으나 기계구조상 배추 정식작업에 적응성이 떨어지고 작업능률이 높지 않아 배추정식작업에 사용되지 않고 있다.

미국이나 유럽 등의 대규모 채소 재배지역에서의 정식작업은 주로 트랙터 부착형 및 자주형 반자동 정식기를 사용하고 있으며, 작업방법은 사람이 기계에 탑승하여 직접 모를 모 공급장치에 분배하면 식부장치에 의해 심는 구조이며, 최근에는 플러그 모판을 모 공급장치에 공급하면 완전 자동으로 정식되는 기계가 개발되어 사용되고 있으나 유럽에서 재배되고 있는 배추는 우리나라와 다르기 때문에 유럽식 배추정식기를 국내에 바로 적용하기는 어렵다고 판단된다.

일본에서는 모를 인력으로 공급하는 방식의 보행형 1조식 채소정식기가 주로 이용되고 있으며,

---

* 농촌진흥청 농업기계화연구소
† 이 연구는 농림기술과제연구비로 수행되었음

최근에는 양배추, 배추, 양상추 등 플러그모를 자동으로 1시간에 10a를 심을 수 있는 승용관리기 부착형 및 자주식 채소 정식기를 개발하여 보급되고 있으며, 재생지로 만든 육묘용 연결포트에 모를 육묘하여 종이포트째 정식하는 종이포트모 정식기가 보급되고 있다. 일본의 경우 배추 재배 양식이 우리나라와 유사하지만 플러그모 트레이의 규격이 우리나라와 다르기 때문에 이를 도입할 경우에는 플러그 모판을 전면 수정해야 하는 문제가 있으며 정식기의 주요장치인 모 취출, 모 공급 및 식부장치 등은 모두 특허로 보호되어 있기 때문에 기술도입이 어려우며, 기술 도입료의 부담으로 우리나라에서 배추정식기를 독자적으로 개발하여야 한다.

본 연구의 궁극적인 목적은 배추 육묘를 자동으로 심을 수 있는 자동정식기를 개발하고 이에 성능을 평가하고자 하였다. 이를 위하여 정식기의 주요 장치인 모 취출기구와 식부기구를 ADAMS를 이용하여 설계하고 IDEAS를 이용하여 시작기를 설계 제작하여 성능을 검증하고자 하였다.

연구의 구체적인 목적은 다음과 같다.

첫째, 일본 채소 자동정식기의 기술을 벤치마킹(Benchmarking)하여 정식기의 개발방향을 설정한다.

둘째, 배추 모를 효과적으로 취출하고 정식할 수 있는 장치를 개발한다.

셋째, 시작기를 설계 제작하고 그 성능을 검증한다.

2. 일본 채소 자동정식기의 벤치마킹

공시기는 표 1에 나타낸 바와 같이 일본 얀마농기회사의 채소정식기(ACP-1)를 대상으로 모 취출장치와 식부장치의 기구부의 작동을 ADAMS를 이용하여 분석하고 포장시험을 통하여 그 성능을 조사하였다.

Table 1 The specifications of a test vehicle

	- Model No.: ACP-1 - Manufacturer : Yanmar, Japan - Automatic 1 row (Walking type) - Overall Width : 60cm - Furrow Height : 0～30cm - Row Spacing : 28～56cm - Available plug trays : 128, 200-cell

가. 작동분석

1) 모 취출장치

그림 1에서와 같이 얀마 채소정식기의 모 취출장치는 세 쌍의 기어로 이루어진 단순 기어열에 곡선 홈을 따라 움직이는 슬라이드 기구가 결합된 복합 기구이다. 단순 기어열의 첫 번째 기어는 고정되어 있으며, 세 번째 기어축과 슬라이드 기구의 크랭크축이 연결되어 있다. 기어열의 케이스가 회전함에 따라 크랭크가 회전하여 슬라이드 기구의 커플러 링크에 고정된 분리침이 육묘 상자

에서 모를 취출하여 식부기구의 호퍼로 옮긴 후 낙하시킨다. 이 때 슬라이드는 곡선 홈을 따라 왕복 운동을 하며, 곡선의 형상에 따라 분리침의 궤적이 결정된다. 모 취출궤적은 그림 2에서 나타낸 바와 같이 분리침의 궤적은 만곡형 루프로서 모취출은 루프의 상단부에서 이루어지며, 낙하는 루프의 하단부에서 이루어진다.

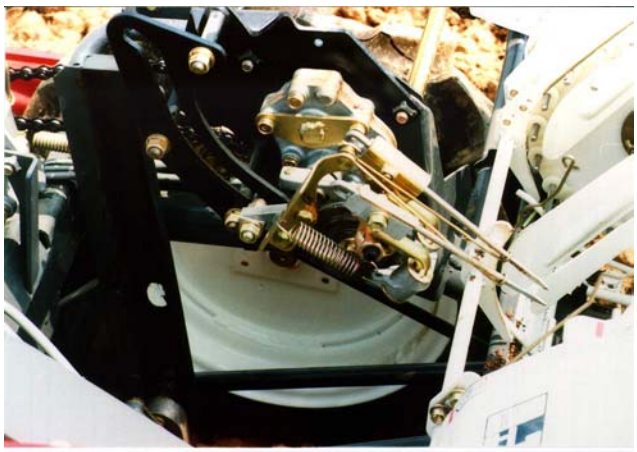


Fig. 1. Shape of the pick-up device developed by Yanmar

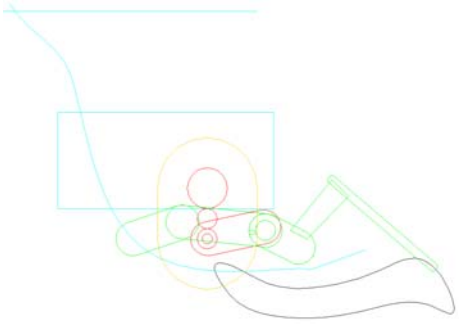


Fig. 2. Locus of pick-up pin

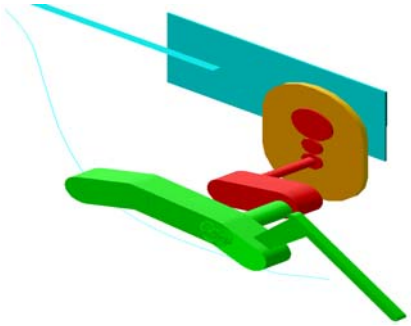


Fig. 3. 3D model of pick-up device

얀마사의 모 취출장치는 회전하는 기어열과 끝 부분의 슬라이드를 이용하여 자세를 제어한다. 그림 2와 3의 자세는 모판에서 모를 분리한 직후의 모습이다. 얀마 모 취출장치의 경우 취출핀은 모판 셀의 아래쪽으로 삽입되어 위쪽으로 빠져 나오는 형태를 취하고 있다.

모 취출장치에 대한 속도 및 가속도 분석 결과는 그림 4에서와 같다. 작업 속도를 0.2 m/s로 하였을 때 2회 모 분리 과정에서 분리침의 변위, 속도, 가속도를 시간함수로 나타낸 것이다. 속도의 최대값은 0.33 m/s이었으며, 가속도의 최대값은 63 m/s^2 이었다.

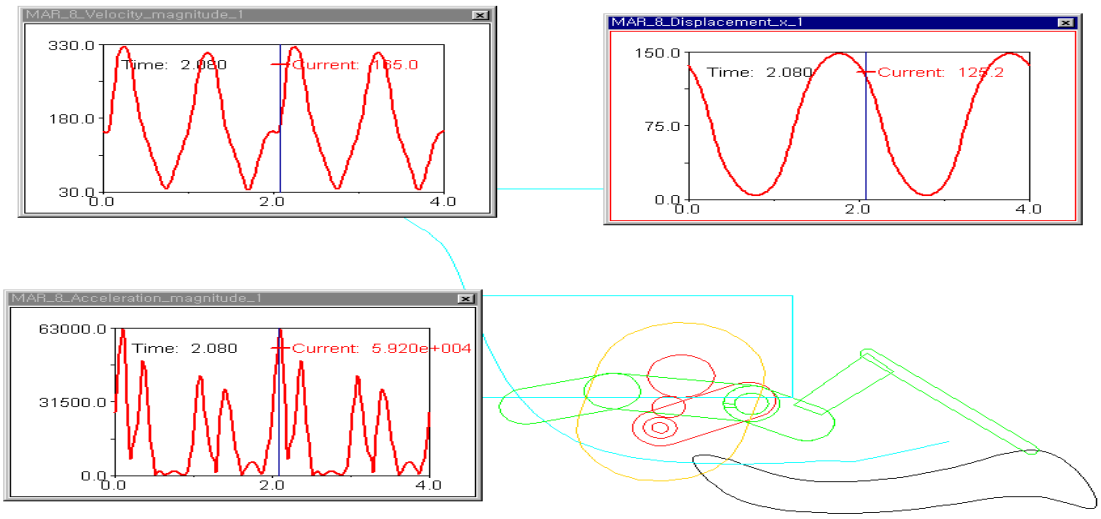


Fig. 4. Velocity and acceleration of pick-up pin

2) 식부기구

식부기구는 모 취출장치에 의하여 원추 호퍼로 낙하된 모를 토양에 삽입하는 기구로서 모 취출장치에서와 같은 원리가 적용되고 있다. 즉, 세 쌍의 기어로 구성된 단순 기어열에 직선 홈을 따라 움직이는 슬라이드 기구가 결합된 것이다. 그림 5는 식부기구의 모습을 나타낸 것이다.

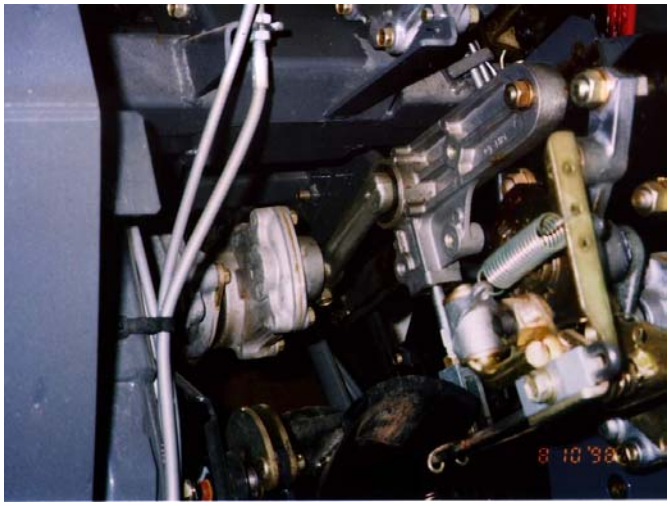


Fig. 5. Shape of planting device developed by Yanmar.

그림 6은 본체가 주행할 때 원추 호퍼의 궤적을 나타낸 것이다. 본체가 정지 상태일 때 호퍼의 궤적은 가는 직선형 루프로서 루프의 좌상단에서 모를 받아 우하단에서 낙하시킨다. 특이한 점은 토양 진입 시 호퍼의 식부 속도를 증가시키기 위하여 호퍼가 식부 사이클의 1/3에 해당되는 시간을 상단에서 일시적으로 정지하는 것이다.

호퍼의 속도 및 가속도의 분석 결과는 그림 8에서와 같다. 작업 속도를 0.2m/s로 하였을 때 2회 식부 과정에서 호퍼의 변위, 속도, 가속도를 시간함수로 나타낸 것이다. 속도의 최대값은 0.75m/s 이고 가속도의 최대값은 19m/s^2 이었다.

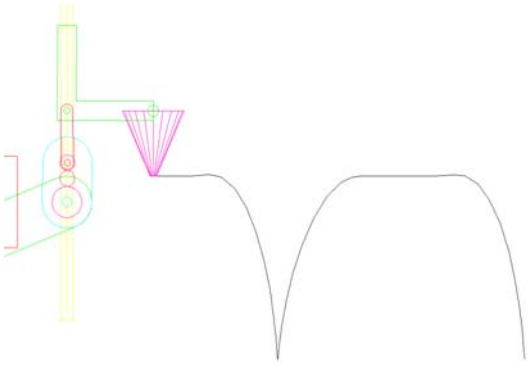


Fig. 6. Locus of conic hopper

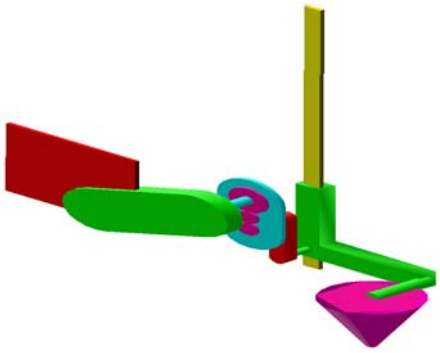


Fig. 7. 3D model of planting device

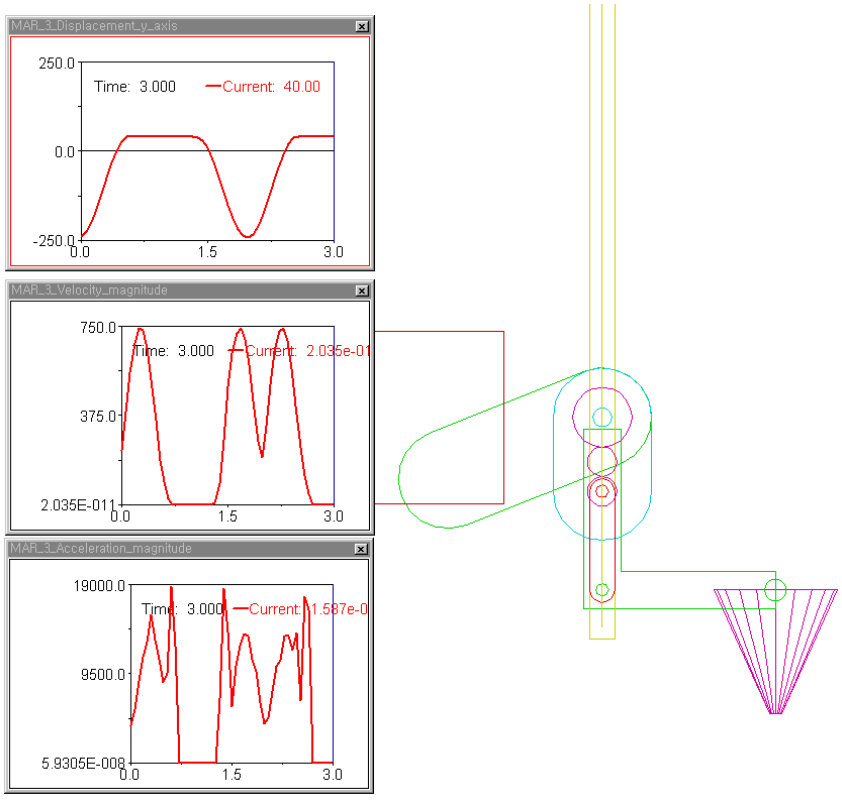


Fig. 8. Velocity and acceleration of conic hopper

나. 성능시험

시험에 사용한 모는 표 2에서와 같이 3가지 품종이며 생육기간은 21일이고 모 분리 시 간섭에 영향을 미치는 모 잎의 잎 퍼짐 정도는 장방향 7~11cm, 단방향은 4~7cm인 것으로 조사되었다. 공시품종의 육묘상태 및 뿌리발육상태는 그림 9와 10에 나타난 바와 같다.

Table 2. The geometric characteristics of cabbage used for test

Variety	Seedling Age (days)	Overall Height (㎝)	No. of leaves (no)	Height of leaves (cm)	Width of leave. (cm)
Pyung-Gang	21	13.0～14.5	4～6	4.5～7.0	3.5～4.5
Tam-Bok	21	10.5～12.2	4～5	4.5～5.0	2.8～3.5
Jang-Son	21	11.0～13.0	4～6	4.0～6.0	3.0～4.0

Fig. 9. Cabbage seedlings before transplanting

Fig. 10. Shape of cabbage seedlings

품종에 따른 모 취출률은 표 3에서와 같이 71.9～90% 정도로 차이가 있었으며 품종의 영향보다는 뿌리발육상태가 좋을수록 모 취출률이 높고, 상토의 수분상태가 많을수록 모 취출률이 높게 나타났다.

플러그모 상자별 모 취출률은 200공에서 92.5%, 128공에서는 87.5%로 나타나 200공의 모 취출률이 보다 좋은 것으로 나타났다. 이것은 200공 트레이는 셀용량이 작기 때문에 같은 육묘일수에서 모 뿌리 밀도가 128공 보다 높기 때문인 것으로 판단된다. 또한 모 분리 시에 배추모 잎이 모판 지지대에 걸리는 문제가 발생하였으며 이 문제는 플러그모 상자의 개량과 함께 해결하여야 된다고 판단된다.

Table 3. Pick-up performance of Yanmar's pick-up device

Successful pick-up (%)			Successful pick-up(%)	
Pyung-Gang	Tam-Bok	Jang-Son	128 Cells	200 Cells
79.0	90.0	71.9	87.5	92.5

식부장치의 성능은 주행속도가 0.23m/s인 경우 식부깊이는 4～5cm, 결주율은 5～8%로 인력에 비해 높은 결주율을 보였으나 이는 육묘된 모에 결주가 있는 경우에 의해 발생하였다.

3. 요인장치의 설계

가. 개념 설계

배추 자동정식기를 개발하기 위하여 다음과 같이 기본적인 설계조건을 설정하였다.

- O 취출장치는 핀셋으로 모를 집어내는 방식으로 개발하며 모의 생육에 지장을 주지 않도록 모의 상토파손이 없어야 하며 모의 흐트러짐이 없이 정확하게 집어내어 식부장치로 전달할 수 있어야 한다.
- O 식부장치는 모를 똑바른 상태로 땅속에 심을 수 있어야 하며 끌림이 없어야 한다.
- O 공급장치는 여러 가지 육묘트레이를 겸용으로 사용할 수 있는 구조가 되어야 하며, 모 취출장치가 모를 하나씩 정확하게 뽑아낼 수 있도록 이송오차가 없어야 하며, 하나 이상의 육묘트레이를 연속적으로 투입하여 작업할 수 있어야 한다.

나. 모 취출장치

모 취출장치는 그림 11과 12에 나타난 바와 같이 링크와 곡선슬라이드를 이용한 방식과 링크와 직선슬라이드를 이용한 두 가지 방식으로 설계하였다.

그림 11의 곡선슬라이드방식의 모 취출장치는 링크가 반시계 방향으로 회전하면서 앞부분의 직선운동궤적에서는 핀셋이 트레이에 삽입되어 모를 집게 되고, 링크가 계속 회전함에 따라 곡선운동궤적을 따라서 핀셋이 아랫방향으로 숙여지게 되어 모를 식부호퍼로 떨어뜨리는 방식이다.

그림 12의 직선슬라이드방식의 모 취출장치는 구동력을 전달받아 링크가 반시계 방향으로 회전하여 직선슬라이드에 의해 직선궤적을 형성하면서 핀셋이 트레이에 삽입되어 모를 집게된다. 링크가 계속 회전함에 따라 핀셋이 반대방향으로 직선운동을 하면서 나오다가 스토퍼에 의해 직선운동이 멈춰지게 되면 핀셋은 곡선운동을 하게되어 아래로 숙이게 된다. 핀셋이 제일 아래 방향에 위치했을 때 집게가 벌려지면서 모를 식부호퍼로 떨어뜨린다. 핀셋은 모를 집을 때 오므라지고 모를 떨어뜨릴 때 벌려지게 되며, 이때 핀셋만 벌리면 모가 떨어지지 않으므로 핀셋을 벌리는 동시에 모를 밀어내는 배출링을 핀셋에 설치하였으며 핀셋의 작동궤적은 곡선슬라이드 방식의 궤적과 유사한 형태를 보이고 있다.

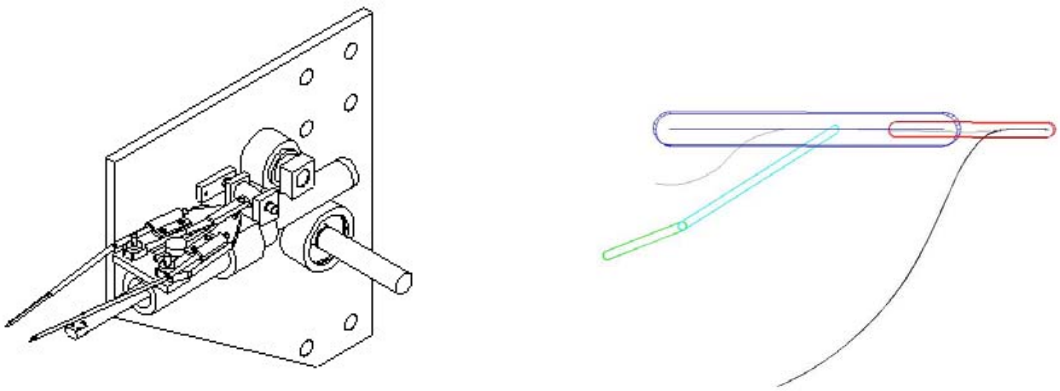


Fig. 11. Shape and locus of Pick-up device in curved slide

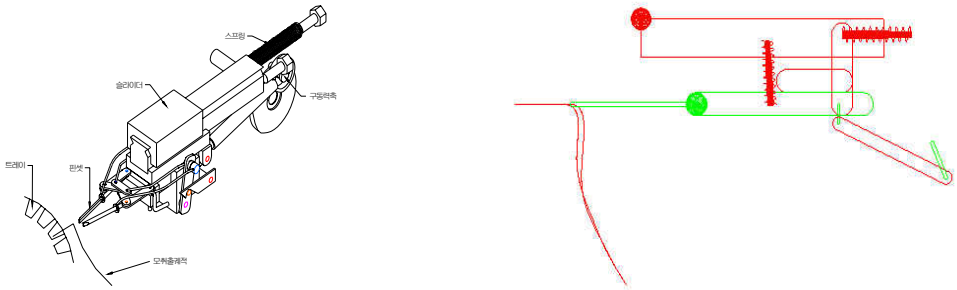
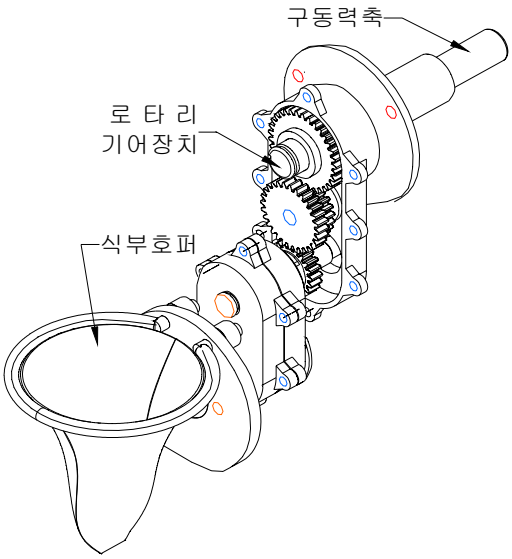


Fig. 12. Shape and locus of pick-up device in linear slide

다. 모 식부장치

취출된 모를 받아서 땅속에 심는 식부장치 선정을 위하여 그림 13과 14에 나타난 바와 같이 로터리 방식과 4-bar 링크방식 2종류를 구상하였다. 그림 13의 로터리 식부방식은 식부호퍼가 항상 똑바로 서 있도록 본체에 커플링조합으로 고정되어 있으며 식부궤적을 형성하는 기어조합은 구동력을 2배로 증속시켜 타원형의 식부궤적을 형성하게 되는 방식이며 식부호퍼의 개폐는 캠에 의해 작동된다. 그림 14의 4-bar 링크방식의 식부장치는 4개의 4절 링크를 조합한 링크로 작동되는 방식으로서 기존 정식기에 주로 이용되고 있는 방식이다.



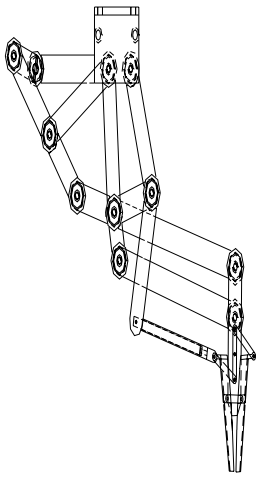
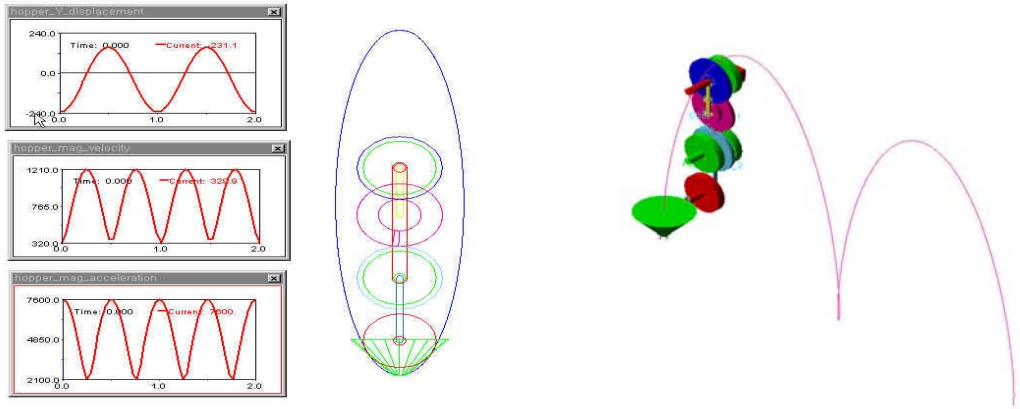


Fig. 13. Planting device in rotary

Fig. 14. Planting device in 4-bar link

그림 15의 (a)는 정식기가 정지상태일 경우의 식부호퍼궤적과 궤적운동에 따른 변위, 속도 및 가속도의 변화를 나타낸 그림이다. 식부호퍼의 속도는 식부호퍼에 모가 투입되는 지점인 상단과 모를 정식하는 하단에 위치해 있을 때 가장 느리게 나타나 모공급 및 정식 타이밍이 적당한 것으로 나타났다. 그림 15의 (b)는 정식기가 진행할 경우의 식부궤적을 나타낸 것으로 정식기의 작업

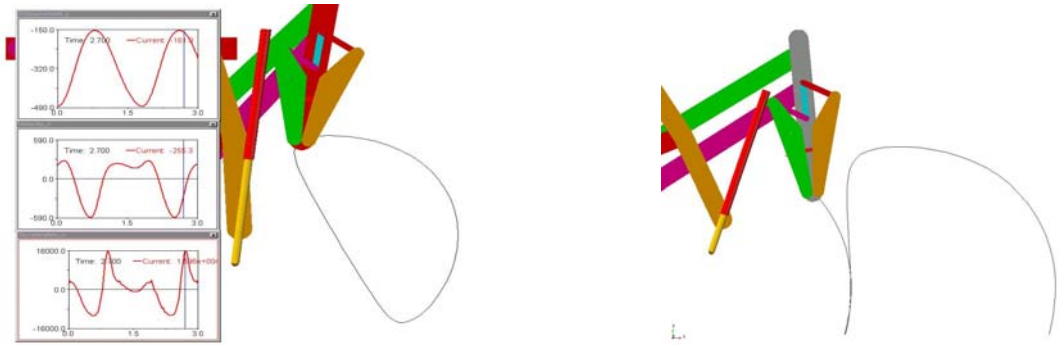
속도가 0.3m/s로 진행할 경우 식부호퍼의 끌림현상이 없는 것으로 나타났다.



(a) static state (b) dynamic state

Fig. 15. The locus of planting hopper of rotary type

4-bar링크 식부장치의 식부궤적은 뒤쪽으로 찌그린 타원형 형상으로 나타났다. 그림 16의 (a)는 정식기가 정지하고 있을 경우의 식부호퍼궤적과 식부호퍼의 운동에 따른 변위, 속도 및 가속도의 변화를 나타낸 그림이다. 식부호퍼가 최저점에서 위쪽으로 상승할 경우에 식부호퍼가 뒤쪽으로 궤적을 형성함으로써 식부호퍼가 끌리는 현상을 없앴다. 4-bar링크방식의 식부장치는 로터리방식의 식부장치보다 더욱 안정된 식부궤적으로 배추모를 심을 수 있는 장점은 있지만 크기가 크고 고속작업이 어려운 단점이 있다. 그림 16의 (b)는 정식기가 진행할 경우의 식부궤적을 나타낸 것으로 모가 심겨지는 지점에서 식부호퍼가 끌리는 현상이 없는 것을 알 수 있다.



(a) static state (b) dynamic state

Fig. 16. The locus of planting hopper of 4-bar link type

식부장치의 구조 및 작동을 분석한 결과에 따르면 로터리조합 식부장치는 진동 및 소음이 적어 고속작업에 유리한 장점이 있지만 기어간의 유격을 없애는 등 정밀제작이 요구되므로 상대적으로 제작비용이 높은 단점이 있다. 4-bar링크방식의 식부장치는 제작이 용이하여 가격이 저렴한

장점이 있지만 크기가 커서 2조 이상의 정식기에 채택하기가 어려울 뿐만 아니라 진동 및 소음으로 고속작업이 어렵다. 따라서 본 연구에서는 작동이 원활하고 고속작업이 가능한 로터리 식부장치를 모 식부장치의 적합한 메커니즘으로 선정하였다.

라. 모 공급장치

1) 플러그묘 육묘트레이 규격 설정

육묘트레이는 셀용량 및 육묘일수 등을 고려하여 작물종류에 따라 다르게 사용되고 있으며 배추는 주로 128 및 200공을 사용한다. 정식기에서 모를 자동공급하기 위해서는 트레이를 가로 또는 세로로 이송하는 장치가 필요하다. 128, 200공의 육묘트레이를 하나의 이송장치로 이송하기 위해서는 셀피치가 일치해야만 가능하다. 따라서 자동정식기를 이용하여 모를 정식하기 위해서는 기계적 특성 및 적용작물에 맞는 육묘트레이의 규격화가 필수적이다. 이중 128공과 200공은 그림 17에서와 같이 128공의 4번째와 200공의 5번째 지점에서 일치하는 것으로 나타났다. 따라서 한 대의 모 공급장치로 200공과 128공 육묘트레이를 사용할 수 있도록 200공의 셀피치를 25.4mm, 128공의 31.75mm씩 설계하고 투입 및 배출이 용이하게 ⊂자형으로 휘어지도록 육묘트레이를 설계하였다.

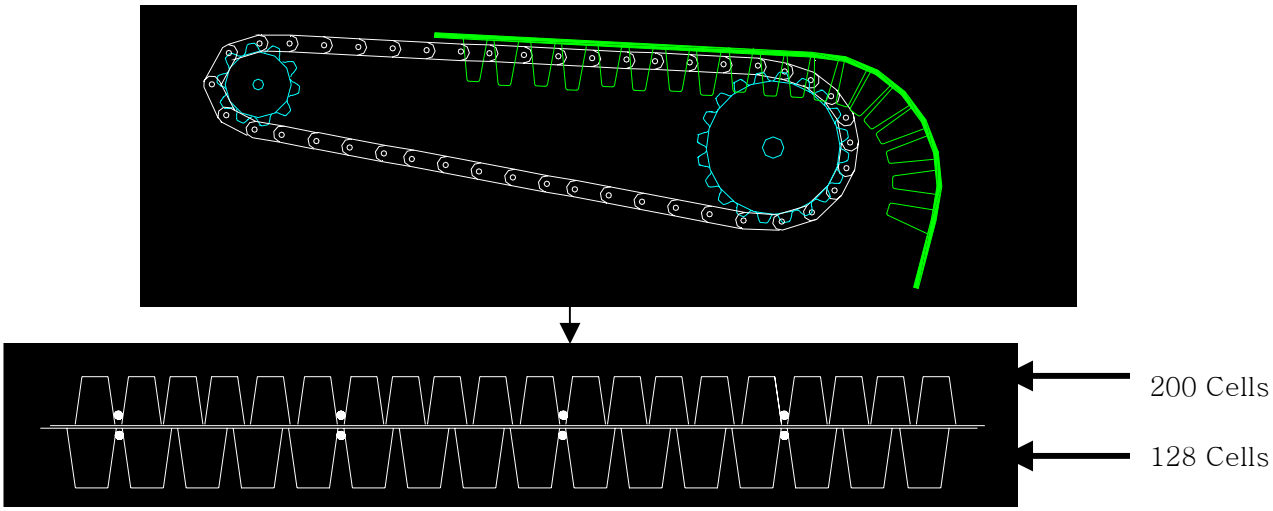
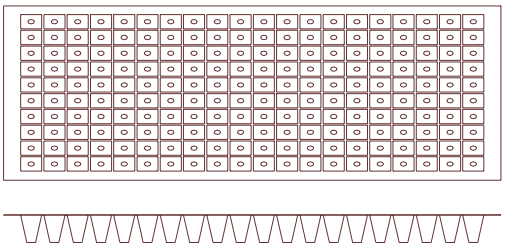
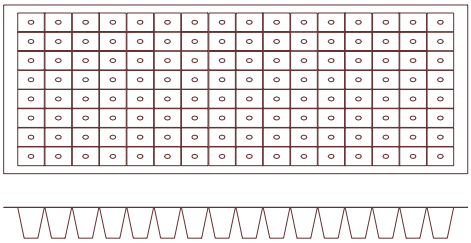


Fig. 17. Determination of moving pitch for the seedlings feeding device

본 연구에서 개발한 128공과 200공 육묘트레이를 표 4에 나타내었다. 육묘트레이의 양쪽 가장자리 테두리는 정식기에 육묘트레이를 탑재했을 때 정식기에서 육묘트레이가 떨어지지 않도록 눌러주는 부분으로 이용되며 육묘트레이의 세로방향 양쪽테두리는 셀의 가장자리와 다음 셀의 가장자리 간격의 반에 해당하는 길이로 정식기에서 육묘트레이를 투입 시 연속적인 작업이 가능하도록 설계하였다.

Table 4. Prototype plug trays

200 Cells	128 Cells
	
Overall Size(W×L) : 506.6×280mm Pitch: 25.4mm Cell size(W×L×H) : 23×23×44mm	Overall Size(W×L) : 506.6×280mm Cell Pitch: 31.75mm Cell Size기(W×L×H) : 29×29×44mm

2) 모 공급장치의 설계

플러그 육묘트레이에 육묘된 모를 모 취출장치가 하나씩 취출할 수 있도록 모를 탑재하여 일정피치 만큼 가로 또는 세로방향으로 자동으로 이송하는 모 공급장치는 모이송장치는 그림 18과 같이 모탑재대를 가로방향으로 이송시키는 가로이송 스크류, 모 취출 시 모탑재대를 일시 정지시키는 제네바기어장치, 128공과 200공 육묘트레이를 가로방향으로 이송시키기 위해 기어비를 조절하는 가로이송기어변환장치, 모탑재대를 세로방향으로 이송시키는 레칫기어장치, 128공과 200공 육묘트레이를 세로방향으로 이송시키는 세로이송기어변환장치, 128공과 200공 육묘트레이를 세로방향으로 이송시키는 이송체인으로 구성되어 있다.

모 공급장치는 육묘트레이를 가로로 한 칸씩 이송시켜 모 취출장치가 모를 집어낼 동안 정지하였다가 모를 집어낸 후 옆으로 한 칸씩 이송시킨다. 가로방향의 끝까지 이송한 후에는 세로이송 레칫기어에 의해 세로로 한 칸씩 이송시키는 구조이다.

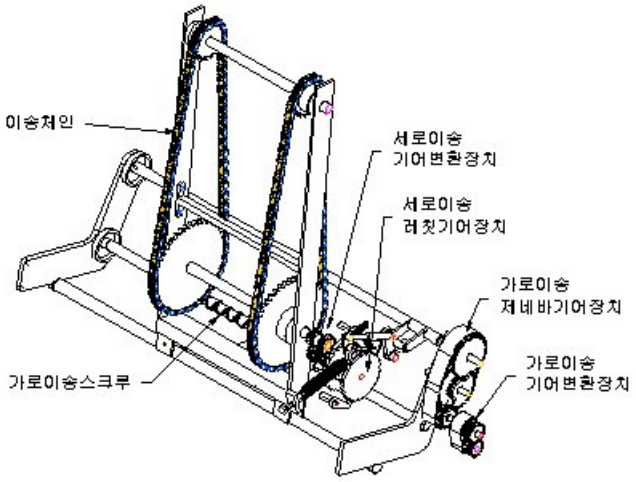


Fig. 18 Schematic Diagram of Feeding device

4. 요인시험

설계요인시험은 그림 19와 같이 모취출장치 2종, 식부장치 2종, 모 공급장치 1종을 설계 제작하여 육묘를 한 배추 모를 이용하여 모 취출장치의 성능을 시험하였으며 모공급, 모취출, 식부 일관작동상태를 조사하여 식부 및 공급장치의 문제점을 비교 분석하였다.

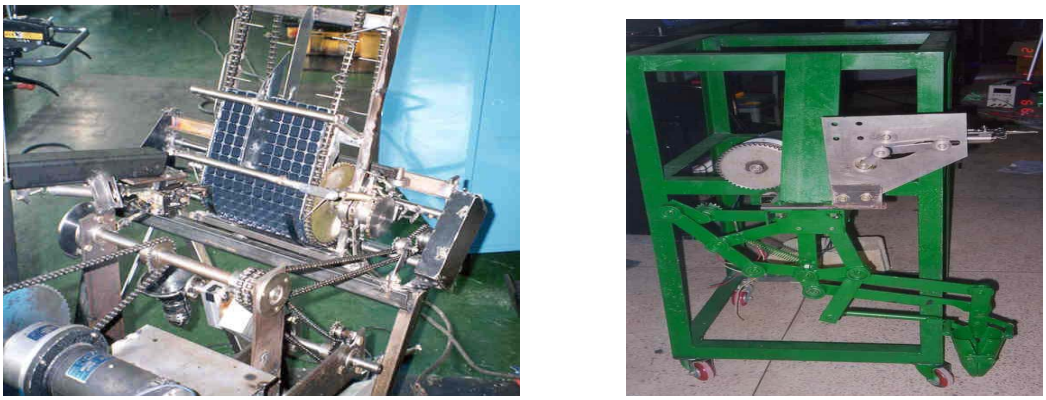


Fig. 19. The experimental apparatus of the automatic transplanter

요인시험에 사용한 배추모의 특성은 표 5와 같다. 엽수 2.3 ~5.9매/주, 엽장 3.84~8.92cm, 엽폭 1.81~3.49cm, 엽면적 25.89~140.73cm^2/주로 육묘일수가 경과할수록 생육상태가 좋아지는 경향으로 나타났다. 모의 함수상태는 시험 1시간 전에 물을 충분하게 주어 상토함수율을 습량기준으로 70~75%범위로 하였다.

Table 4. The geometric characteristics of cabbage used for the experiment

Seedling age (days)	No. of leaves(no)	Length of leaves(cm)	Width of leaves(cm)
15	2.3	3.84	1.81
20	3.1	5.43	2.51
25	5.1	8.92	3.45
30	5.9	8.53	3.49

모 취출시험은 표 6과 같이 핀셋 삽입위치를 배추묘 플러그의 하단, 중단, 상단으로 삽입하여 육묘일수별로 모취출개수, 실패개수, 상토파손개수, 잎손상개수를 조사하여 모취출률과 성공률로 비교 분석하였다. 시험된 모의 개수는 처리별로 각각 200개로 하였다.

모 취출률을 측정하여 육묘트레이로부터 배추모가 잘 빠지는 정도를 알아내고자 하였으며 성공률을 이용하여 육묘트레이로부터 배추모가 잘 빠지는 정도와 상토파손정도를 구명하였다.

배추정식기의 모취출 성능은 육묘일수가 20일인 경우 취출장치의 삽입위치가 중간인 경우가 모취출률이 99.5%로 가장 양호한 것으로 나타났다.

육묘일수가 15일인 경우는 엽수, 생체중 등이 매우 떨어지고 뿌리부분의 매트형성이 잘 안되어

트레이로부터 모가 잘 빠지지 않고 빠진 배추모의 상토파손이 많은 것으로 나타났다. 그러나 잎손상은 엽수, 엽장, 엽폭 등이 작기 때문에 손상률이 상대적으로 낮은 것으로 나타났다.

육묘일수가 20일 이상인 경우는 엽수, 엽면적, 배추묘의 생체중 및 건물중이 정식하기에 적합한 수준으로 모취출률이 98.5%이상으로 양호하게 나타났다. 육묘일수가 많을수록 상토파손 등을 고려한 성공률이 97.5%에서 98.5%로 높게 나타났다. 이는 배추의 뿌리가 상토의 표면을 감고있기 때문인 것으로 판단된다. 그러나 육묘일수가 많을수록 배추잎의 크기가 크고 배추잎이 서로 엉키는 현상이 발생하여 실패개수가 증가하여 모취출률이 99.5%에서 98.5%로 떨어졌다. 따라서 배추정식기에 적당한 배추모는 육묘일수 20일 전후의 묘를 사용하는 것이 가장 좋을 것이라고 판단된다.

모취출장치 핀셋의 삽입위치에 따른 모취출률은 핀셋의 위치가 셀의 밑부분으로 삽입되는 경우가 98.5%, 중간이 99.5%, 윗부분으로 삽입되는 경우가 97.5%로 나타나 셀의 중앙으로 핀셋을 삽입하도록 하였다.

Table 6. Results of the performance test for the pick-up device

Age (days)	Pick-up Position	Failure (ea)	Soil broken (ea)			Leaf broken (ea)	Picking-up rate with broken ones (%)	Picking-up rate without broken ones (%)
			below	upper	overall			
15	Below	7	9	1	5	1	96.5	89.0
	Center	6	5	0	3	2	97.0	93.0
	Upper	8	10	1	7	2	96.0	87.0
20	Below	3	8	0	2	2	98.5	93.5
	Center	1	3	0	1	1	99.5	97.5
	Upper	5	9	0	5	3	97.5	90.5
25	Below	4	6	0	3	3	98.0	93.5
	Center	2	2	0	0	4	99.0	98.0
	Upper	6	7	1	1	4	97.0	92.5
30	Below	5	5	0	0	2	97.5	95.0
	Center	3	0	0	0	6	98.5	98.5
	Upper	7	4	0	0	6	96.5	94.5

Fig. 20. Pick-up pin inserted to the center of the seedling

Fig. 21. Pick-up pin inserted to the upper of the seedling

5. 시작기 설계 제작 및 포장성능시험

가. 시작기의 구조 및 제원

배추정식기 시작기는 승용관리기 부착형 2조식으로 모이송, 모취출 및 모심기 동시작업형으로 제작하였으며 식부깊이 및 두둑추종이 자동으로 수행되는 추종장치도 함께 구성하였다.

배추정식기의 구조는 그림 22와 같이 육묘트레이를 탑재하고 가로 또는 세로방향으로 한 칸씩 이송시키는 모이송장치, 모를 하나씩 집어내서 식부호퍼로 떨어트리는 모취출장치, 취출장치로부터 모를 받아 타원형의 궤적을 형성하면서 두둑 위에 모를 심는 식부장치, 두둑중앙에 모를 일정한 깊이로 심을 수 있는 식부깊이 및 두둑추종 자동조절장치, 각각의 장치로 동력을 전달하고 주간을 조절하는 동력전달장치 등으로 구성된다.

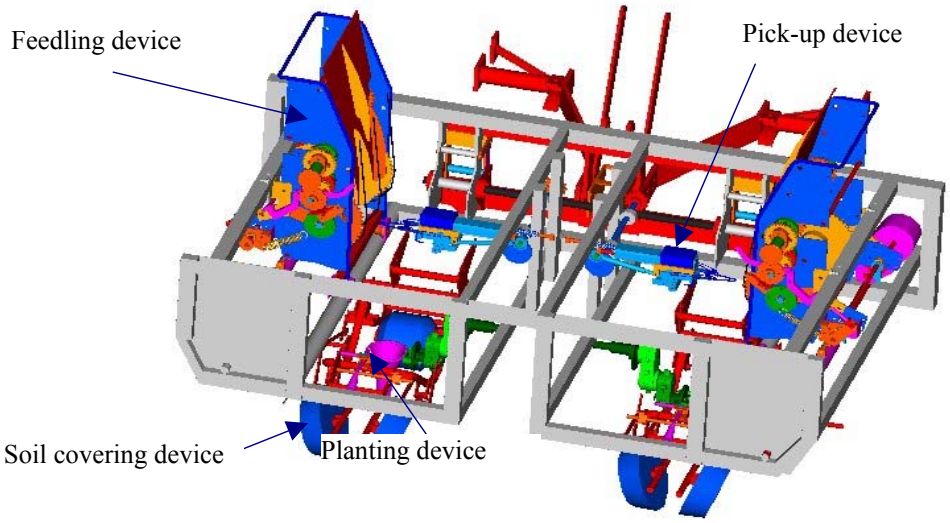


Fig. 22. Prototype of the automatic transplanter

또한, 시작기는 기계의 이용효율을 높이기 위해 배추뿐만 아니라 상추, 양상추, 양배추 등 엽채류의 정식작업에 활용할 수 있도록 조간 및 주간을 조절하고 128공과 200공 육묘트레이를 겸용으

로 사용할 수 있도록 설계 제작하였다.

작업능률을 높이기 위하여 12개의 예비 모탑재대를 승용관리기의 전륜위쪽에 설치하였으며 이는 정식기 쪽으로 쏠리는 무게중심을 앞쪽으로 분산시키는 효과가 있다.

배추가 두둑중앙에 심겨질 수 있도록 자동으로 조절되는 두둑추종 조절범위는 ±75mm이고, 정식깊이는 0～6cm까지 조절이 가능하다.

Table 7. Main specifications of the prototype

Overall length (mm)	1,850
Overall width (mm)	1,690
Overall height (mm)	1,280
Planting rows	2
Column spacing (cm)	45～65
Row spacing(cm)	25～50
Available vegetables	chinese cabbage, lettuce, cabbage
Available trays	128, 200cells plug seedling tray
Width following furrow (mm)	±75
Range controlling planting depth(cm)	0～6

나. 포장성능시험

1) 공시 품종

배추모는 표 8과 같이 시험포장 Ⅰ에서는 고랭지 여름배추를 시험포장 Ⅱ에서는 조생가락 배추를 사용하였다. 고랭지 여름배추의 육묘는 주간에는 20～25℃, 야간에는 18～20℃를 유지하다가 육묘 후반기에는 온도를 낮추고 순화시켰으며, 관수는 오전에 1회 실시하고, 시비는 작물상태에 따라 비왕(1,000배액)을 엽면살포하였다. 배추모는 육묘일수가 20일로 짧고 초장이 7～7.5cm로 정식하기에는 어린 상태로 뿌리발육이 잘 안되어 플러그형성이 좋지 않았으며, 조생가락 배추는 24일 육묘하여 초장이 9～11cm로 플러그형성이 정식하기에 알맞게된 상태였다.

Table 8. The geometric characteristics of tested seedlings

Experimental Fields	Planting Day	Seedling Age(days)	Height of leaves (cm)	No. of leaves(ea)
Field Ⅰ	7. 28	20	7.0 ～ 7.5	4 ～ 4.5
Field Ⅱ	9. 6	24	9～11	4～6

2) 공시포장

정식포장은 표 9와 같이 3～5° 의 경사지와 평지가 혼재된 포장에서 시험하였다. 기비시용 후 로터리 경운한 포장으로 쇄토가 잘되어 정식하기에 좋은 상태였다. 시험포장 은 옥수수를 재배한 포장으로 잡초 및 옥수수잔유물 등의 협잡물이 많아 두둑성형시 약간씩 흙이 끌리는 현상이 발생하였다. 시험포장 Ⅱ의 토양상태는 쇄토율이 100%로 협잡물이 없어 정식하기에 좋았다.

Table 9. field conditions for test

Experimental Fields	Field Area(m^2)	Slope	Soil type	Soil Crushing Ratio(%)
Field 1	4,263	3～4.4°	sandy loam	100
Field 2	1,320	0°	sandy loam	100

3) 포장성능시험

배추정식기의 작업성능은 주행 속도를 0.2～0.4m/s로 하였을 때 표 10에 나타난 바와 같이 10a(300평)당 작업시간은 정식 0.5시간, 선회 0.1시간, 모공급 0.2시간, 휴식 0.2시간으로 총 1.0시간이 소요되었다. 모를 1회 공급하였을 때 작업가능 길이는 120～160m로 나타났다.

Table 10. The working performance of the prototype

Traveling Speed (m/s)	Transplanting time (hr/10a)	Turning time (hr/10a)	Preparing time (hr/10a)	Rest time (hr/10a)	Total elapsed time (hr/10a)
0.3～0.4	0.5	0.1	0.2	0.2	1.0

Fig. 23. Transplanting of cabbage using the prototype

Fig. 24. Shape of cabbage after transplanting

포장시험결과는 표 11에 나타난 바와 같이 포장 Ⅰ에서는 모의 식부 자세가 30～40° 로 눕혀지면서 심겨지는 문제가 발생하였으며 결주율도 7.8%로 높게 나타났다. 이는 식부호퍼와 모취출장치의 기어비가 1 : 1로 설계되었기 때문에 배추를 두둑 위에 심을 때 식부호퍼의 느린 궤적운동에 의하여 식부호퍼가 끌리는 현상 때문에 발생하는 문제인 것으로 판단되었다.

Table 11. The result of field test for the prototype

Experimental Fields	Row spacing (㎝)	Angle between cabbage and soil	Missing rate of seedling (%)	Missing rate of transplanting (%)
Field Ⅰ	37 ～ 41	30～40°	3.5	7.8
Field Ⅱ	35	90。	2.5	1.0

포장 Ⅱ에서는 포장 Ⅰ에서 나타난 문제점을 개량하기 위하여 식부호퍼로 전달되는 동력라인에 간헐운동기구인 제네바기어장치를 부착하여 배추묘를 두둑에 심을 때 식부호퍼를 2배 빠르게 작동시켜 모를 빨리 심고 위로 올라와 멈출 수 있도록 하였다. 이렇게 함으로써 식부호퍼가 끌리는 현상을 방지하였으며, 모취출장치가 다음 식부할 모를 식부호퍼에 투입시 안정적으로 모가 전달될 수 있는 효과가 있었다. 따라서 표 11에 나타난 바와 같이 식부자세가 90° 로 바로 심겨지고 정식기의 기계적인 결주율도 1% 미만으로 양호하게 나타났다.

6. 요약 및 결론

본 연구에서는 배추 육묘를 자동으로 심을 수 있는 자동정식기를 개발하고 이에 성능을 평가하고자 하였다. 이를 위하여 정식기의 주요 장치인 모 취출기구와 식부기구를 ADAMS를 이용하여 주요 장치를 설계하고 IDEAS를 이용하여 시작기를 설계 제작하여 성능을 검증하였다.

그 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 해외 채소 자동정식기의 기술을 벤치마킹하기 위하여 일본 자동정식기의 주요 메커니즘을 ADAMS를 이용하여 해석하였으며 그 성능을 시험하였다.

둘째, 정식기의 주요 장치인 모 취출장치와 식부장치 그리고 모 공급장치를 개발하였으며, 모 취출장치의 성능은 요인시험 결과 육묘일수가 20일인 모의 중간위치를 취출하는 경우 모 취출률이 99.5%로 양호하게 나타났다.

셋째, 모 공급장치 개발을 위하여 새로운 플로그 육묘 트레이의 규격을 제안하였으며 128공 200공 육묘트레이를 겸용으로 사용할 수 있도록 부가적인 기계장치를 구성하였다.

넷째, 시작기를 설계 제작하여 실제 포장에서 그 성능을 시험하였다. 시험결과, 첫 번째 포장시험에서는 식부장치의 끌림현상으로 인하여 모의 식부 자세가 30～40° 로 눕혀지는 문제가 발생하였으며 결주율도 7.8%로 높게 나타났으나 식부 호퍼에 제네바기어장치를 부착하여 개량한 결과, 식부 자세가 90° 로 바로 심겨지고 정식기의 기계적인 결주율도 1% 미만으로 양호하게 나타났다.

7. 참고문헌

1. 경상대학교 농과대학. 1995. 원예작물 일관생산 체계를 위한 공정육묘 시스템개발.
2. 류관희, 김기영, 박정인. 1998. 육묘용 로봇이식기 그리퍼의 개발 및 이식성능평가. 한국농업기계학회 23(3) : 271～276.
3. 민영봉, 문성동. 1998. 플러그모 자동이식기의 모 자동공급 및 이식기구에 관한 연구. 한국농업기계학회 23(3) : 259～270.
4. 최원철. 2000. 플러그모 자동 모 취출장치 개발. 석사학위논문. 서울대학교.
5. ADAMS User's Kit. 1998. Mechanical Dynamics, Inc., USA
6. Brewer, H. L. 1994. Conceptual modeling automated seeding transfer from growing trays to shipping modulus. Transactions of ASAE 37(4): 1043-1051