

플러그묘 자동 취출 장치 개발

Development of a Automatic Pick-up Mechanism for Plug-Seedlings

최원철* 김대철* 김경욱*
정회원
 W.C.Choi D.C.Kim K.U.Kim

1. 서론

배추의 재배 과정은 기계화된 경운 및 방제 작업을 제외하면 대부분의 작업이 인력에 의존하고 있는 실정이다. 1995년의 경우, 배추 10 a당 노동시간 투입량은 139.7시간으로 다른 작목에 비하여 많은 노동시간을 필요로 한다는 것을 알 수 있다. 또, 정식·수확 작업은 노동강도가 매우 높다. 96년의 경우 생산된 부가가치를 노동 투입시간으로 나누어 보았을 때 배추는 5193원/시간, 벼는 23619원/시간으로 노동생산성이 매우 낮은 것으로 조사되었다. 따라서 배추 재배에 있어서의 일관적인 기계화가 필요하다. 현재 일본과 유럽에는 채소 정식기가 개발되어 있다. 국내에서 재배되고 있는 배추는 미국이나 유럽에서 재배되고 있는 배추와 다른 절구배추이다. 또, 일본 정식기의 경우 국내에서 사용되고 있는 플러그묘에 비해 셀의 크기가 큰 플러그를 사용한다. 따라서 미국, 유럽에서 개발된 정식기를 사용하기가 쉽지 않고, 일본 정식기를 도입할 경우, 국내의 플러그에 맞도록 개선하여야 한다.

정식기를 개발하기 위하여 기술이전을 생각할 수 있다. 그러나 기술이전을 할 경우 수요가 많지 않은 채소 정식기의 경우 생산 채산성이 맞지 않을 것으로 판단된다. 따라서 정식기의 독자적인 설계 기술 개발이 요구된다.

2. 재료 및 방법

묘 취출 기구는 크게 다음과 같은 세 부분으로 구성되어야 한다.

1. 궤적 구현부 : 취출핀을 취출 위치에서 배출 위치까지 이동시킬 수 있는 궤적을 구현하는 부분
2. 취출핀 구동부 : 궤적 구현부에 의하여 생성된 궤적에서 취출핀이 묘판에 도달했을 때 묘를 취출하고, 배출 위치에 도달했을 때 묘를 배출할 수 있도록 하는 부분
3. 취출핀 : 실제 묘의 상태에 삽입하여 묘를 집어내는 부분

궤적 구현부는 취출 장치의 전체적인 자세를 결정한다. 궤적 구현부의 설계 조건은 다음과 같다.

* 서울대학교 농업생명과학대학 농공학과

1. 묘의 상토에 취출핀이 충분히 삽입될 수 있도록 44 mm 이상의 직선 구간을 가져야 한다.
2. 묘의 배출 위치는 묘의 관성을 고려하여 수평선에서 하방으로 75°의 각을 가져야 한다.
3. 구조 및 제작이 간단하여야 한다.

구상된 기구는 왕복 운동을 하는 4절 기구와 4절 기구만을 사용했을 때 단순 왕복 운동만이 일어나는 점을 보완하기 위하여, 직선 구간을 만들기 위한 슬라이드를 추가하였다.

취출핀 구동부는 취출핀이 묘를 묘판에서 분리하고, 정확한 위치에서 배출할 수 있도록 하는 역할을 한다.

취출핀 구동부의 설계 조건은 다음과 같다.

1. 정확한 위치에서 취출과 배출이 이루어져야 한다.
2. 취출 위치에서 배출 위치까지 묘를 이송할 때 묘가 취출핀에서 빠지지 않아야 한다.
3. 취출 중 묘토가 파괴되지 않아야 한다.

취출핀 구동부의 가장 기본적인 기능은 취출핀의 열림과 닫힘을 조정하는 것이다. 그러나 취출핀이 열리는 것만으로는 묘의 배출이 제대로 이루어지지 않는다. 따라서 취출핀을 감싸고 있는 배출링을 설치하였다. 그림 1은 취출핀 구동부의 운동 모습을 나타낸 것이다.

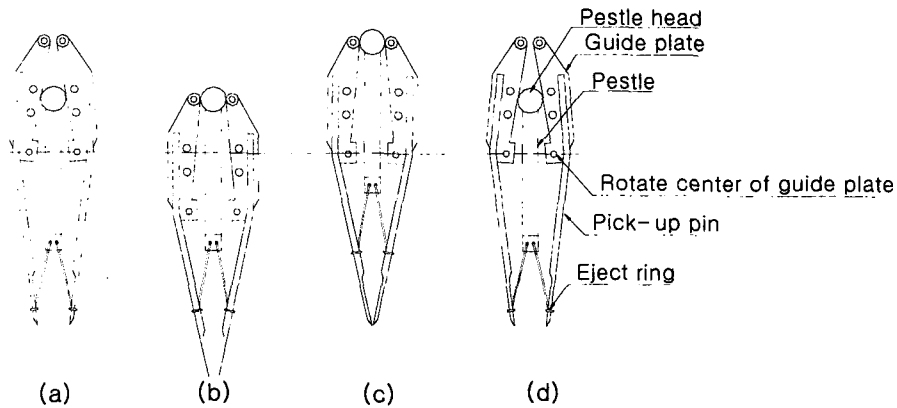


Fig. 1 Pick-up process.

(a)에서와 같이 치개꼭지(Pestle head)와 치개(Pestle)는 위치가 고정된 상태에서 안내판의 회전 중심의 이동에 따라 취출핀은 상토에 삽입되며, (b)의 상태가 될 때까지 진행된다. (b) 상태에서 묘를 잡은 후 전체가 (c) 상태까지 이동한다. 배출 위치에서 치개꼭지가 (d)의 상태로 이동한다. 이 때 치개꼭지와 연결된 배출링이 함께 이동하며 묘를 밀어낸다. 배출 위치 (d)에서 삽입 위치 (a)까지는 치개꼭지의 위치 변경 없이 이동한다.

안내판(Guide plate)은 취출핀이 묘판에 접근하는 궤적을 결정하며, 치개꼭지의 직경은 그에 따른 안내판의 회전각을 결정한다. 따라서 안내판과 치개꼭지를 이용하여 취출핀의 자세

를 결정하는 방식은 취출핀의 궤적 변경이 용이하여 플러그의 종류가 바뀌어도 안내판과 치개꼭지를 교환함으로써 묘를 분리해 낼 수 있다.

취출핀은 직접 상토를 잡아 묘를 취출하고 배출 위치까지 묘를 이송하는 역할을 한다. 취출핀은 상토에 삽입되는 부분이므로 직경이 굵을 경우 상토의 파손이 일어날 수 있다. 취출핀의 설계 조건은 다음과 같다.

1. 상토에 삽입될 때 상토가 파괴되지 않아야 한다.
2. 묘를 이송할 때 묘가 빠지지 않아야 한다.

제작된 취출핀은 상토의 파괴를 막기 위하여 상토에 삽입되는 부분을 납작하게 제작하였으며 묘를 집을 때 상토의 변형을 막기 위하여 탄성이 있는 스프링강을 사용하였다.

실험 결과 직경 4 mm의 핀을 사용하였을 때 묘토가 파괴되었다. 따라서, 직경을 3 mm로 줄이고, 묘토에 삽입되는 부분은 두께가 1 mm가 되도록 가공하였다.

구상한 묘취 기구의 속도, 가속도, 힘을 분석하기 위하여 ADAMS로 모델링하였다.

구동 링크가 시계 방향으로 회전할 경우 취출-배출과 배출-취출 구간에 대한 구동 링크의 회전각은 각각 189° 와 171° 이었다. 한 사이클을 2초로 하였을 때 각각 0.94초와 1.06초이다. 시뮬레이션 결과는 다음과 같다.

구동 링크의 회전 방향에 따른 취출핀 끝의 속도 및 가속도는 크기의 변화 없이 서로 대칭이 되었다.

토크는 속도나 가속도와는 달리 구동 링크의 회전 방향에 따라 큰 차이가 나타났다. 시계 방향의 경우, 소요토크의 최대값이 약 $5 \text{ N} \cdot \text{m}$ 인 반면 반시계 방향의 경우, 약 $2.4 \text{ N} \cdot \text{m}$ 로 나타났다.

따라서 구동 링크의 회전 방향은 반시계 방향으로 하는 것이 효과적인 것으로 판단된다.

실험 결과 30 rpm의 속도로 구동시 취출 동작에 문제가 없었으나 40 rpm의 속도로 구동하였을 때 가속도의 피크가 나타나는 곳에서 이송 도중 묘가 빠지는 현상이 발생하였다.

40 rpm의 속도에서 30 rpm 수준의 가속도로 낮추기 위하여 묘의 배출 및 취출 위치를

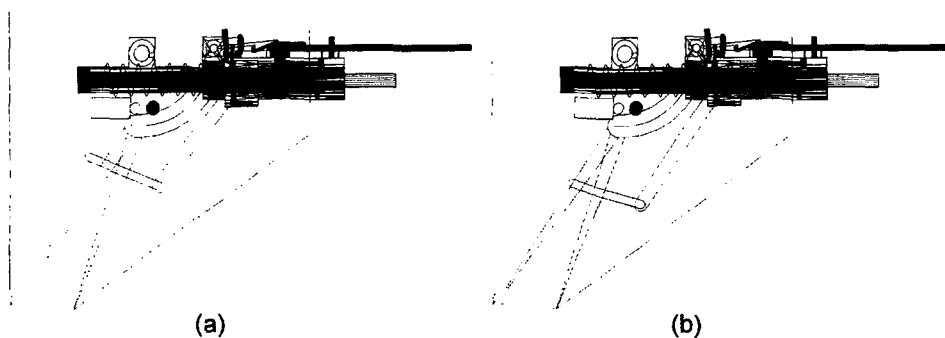


Fig. 2 Before and after modification.

변경시키지 않으며 구동 링크 A의 회전 중심을 20 mm아래로 이동시켰다. 그림 2는 구동 링크의 회전 중심을 이동시키기 전과 후의 모습을 나타낸 것이다.

변경 후 40 rpm의 속도로 구동할 때의 가속도 피크가 변경 전 30 rpm의 속도로 구동할 때의 피크의 77 %수준으로 감소하였다. 따라서 링크의 위치 변경을 통하여 묘가 빠지는 현상 없이 40 rpm의 속도로 구동할 수 있을 것으로 판단된다. 그러나 60 rpm으로 시뮬레이션을 수행하였을 때 구동 링크의 위치와 길이 변경만으로는 취출 작업이 불가능할 것으로 예상된다. 따라서 60 rpm의 속도로 구동하기 위해서는 슬롯의 변경이 필요할 것으로 판단된다.

실험 묘는 각각 23일, 18일 생육한 것을 사용하였으며 파종 및 생육은 농우종묘에서 하였다. 일반적으로 묘의 정식은 여름에는 15일 생육했을 때, 겨울에는 30일 정도 생육했을 때가 적당하다. 실험에 사용된 23일 묘는 정식에는 문제가 없었으나 일반적으로 정식하기에는 약간 이른 상태였다. 정식하기에 이른 묘를 사용한 것은 성묘가 될수록 취출 성공률은 높아지나 활착 및 두둑에서의 생육이 좋지 않기 때문이다.

표 1은 실험에 사용된 묘의 생육 상태를 나타내기 위하여 23일과 18일 묘를 각각 10개씩 선정하여 측정한 평균값이다.

Table 1 Characteristics of seedlings

Age (days)	Leaf area (cm ²)	No. of leaf (EA)	Leaf Length, Include leafstalk (mm)	Leaf Length (mm)	Leaf width (mm)
23	28.50	4.2	73.6	47.3	28.4
18	15.43	3.4	48.2	35.5	22.1

표 1에서 엽면적은 떡잎까지 포함한 값이며 엽수는 떡잎을 제외한 잎의 개수이다. 실험에 사용된 묘는 실험 1일 전에 관수하였다. 습량 기준 함수율은 23일 묘가 75.41%, 18일 묘가 75.83%이었다.

3. 결과 및 고찰

취출핀이 닫히며 삽입되는 B 방식의 성공률보다 마지막에 집는 A 방식의 성공률이 높았다. 그림 3 (a)는 두 가지 취출 방식에 따른 결과이다.

취출핀의 삽입 위치는 셀의 중간을 기준으로 위·아래로 각각 3.5 mm 이동한 것이다. 위쪽으로 삽입되었을 때가 성공률이 가장 낮았으며 중간과 아래는 큰 차이가 없었다. 그러나 위쪽과 아래쪽으로 삽입했을 때 취출핀이 상토 밖으로 드러나는 경우가 있었으며 위쪽으로 삽입했을 때는 윗줄 묘의 잎 손상이 있었다. 그림 3 (b)는 취출핀의 삽입 위치에 따른 성공률을 나타낸 것이다.

40 rpm으로 구동했을 때보다 30 rpm으로 구동했을 때 성공률이 높았다. 40 rpm으로 구동하였을 때 묘가 배출 위치에 도달하기 전에 가속도의 피크가 나타나는 지점에서 빠지는

현상이 발생하였다. 이는 구동 링크의 회전 중심을 20 mm 아래로 이동시키면 해결할 수 있을 것으로 판단된다. 그림 3 (c)는 구동 속도에 따른 결과이다.

23일 생육한 묘와 18일 생육한 묘의 성공률은 다른 경우에 비해 현저한 차이를 보였다. 이로 보아 성공률은 묘의 생육 상태에 가장 큰 영향을 받는 것으로 판단된다. 그림 3 (d)는 생육 기간에 따른 결과이다.

취출핀의 삽입 깊이에 따른 결과는 41 mm가 삽입되었을 때 성공률이 높았다. 그러나 예비 실험에서 삽입 깊이가 38 mm일 때의 성공률이 30 % 였던 것에 비하여 월등히 높은 성공률을 얻을 수 있었다. 이는 묘의 생육상태가 예비 실험할 때에 비하여 좋기 때문으로 판단된다. 그림 3 (e)는 삽입 깊이에 따른 결과이다.

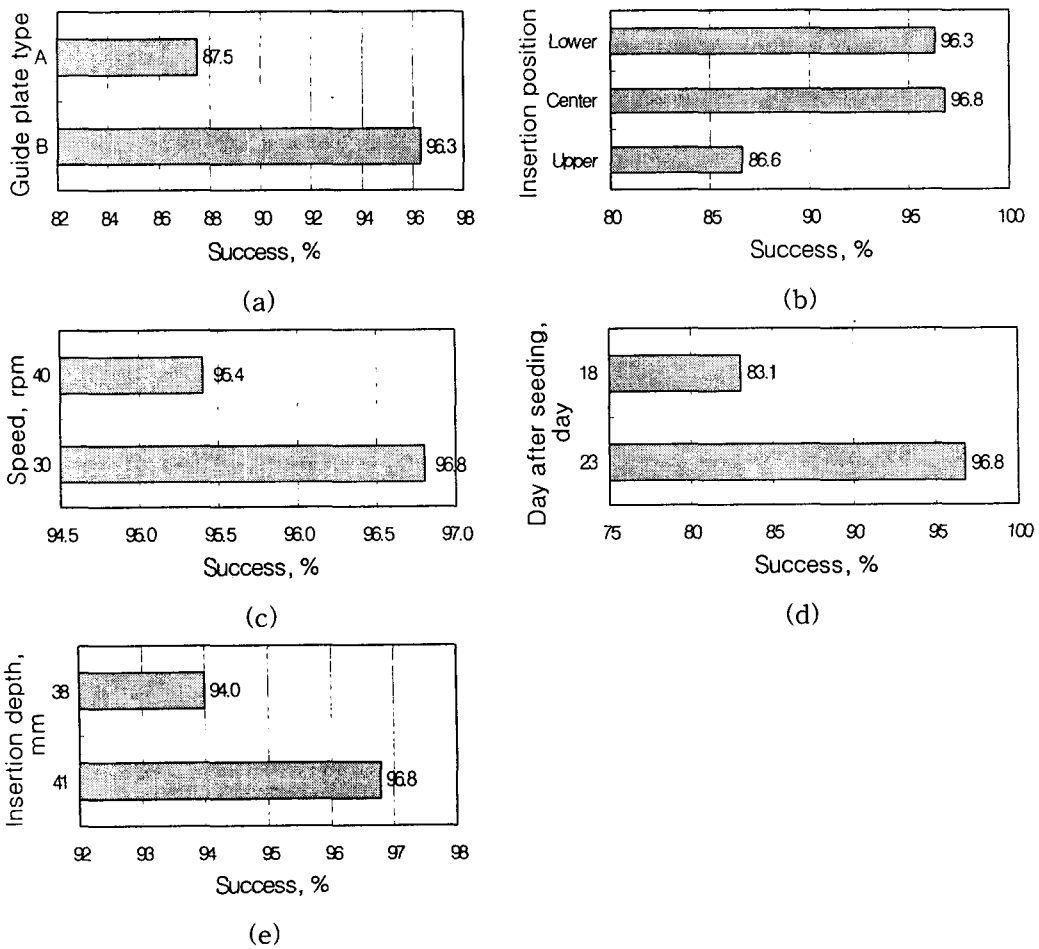


Fig. Results of experiment.

4. 요약 및 결론

묘의 취출 기구를 개발하여 성능 실험을 실시하였다. 취출핀이 묘토에 삽입되는 깊이가

깊을수록, 삽입위치가 중간에 가까울수록 성공률이 높았으며, 어린 묘보다 충분히 생육된 묘에서 성공률이 높았다.

구체적인 결과는 다음과 같다.

1. 묘를 취출할 수 있는 기구를 개발하였다.
2. ADAMS를 이용한 시뮬레이션으로 소요토크 수준이 낮은 구동방향을 결정하였다.
3. 성능 실험을 통해 최대 96.8 %의 취출 성공률을 얻었다.
4. 취출핀의 직경이 4 mm일 때보다 3 mm일 때 상토의 파괴가 적었다.
5. 취출핀이 닫히며 삽입되는 방식보다 마지막에 집는 방식의 성공률이 높았다.
6. 취출핀이 묘의 중간으로 삽입되는 것이 성공률이 높고 상토의 파괴도 적었다.
7. 삽입 깊이에 따른 성공률의 차이는 크지 않았으나 상토의 윗부분 파괴가 일어나는 경우가 있었다.
8. 40 rpm의 속도로 구동할 경우 배출위치에 도달하기 전에 가속도의 피크가 나타나는 위치에서 묘가 빠지는 현상이 있었다. 시뮬레이션을 통하여 구동링크의 위치 및 길이를 변경함으로써 40 rpm으로 구동하였을 때의 가속도를 30 rpm으로 구동할 때의 77% 까지 감소시킬 수 있는 방법을 제시하였다.

5. 참고 문헌

1. 류관희, 김기영, 박정인. 1998. 육묘용 로봇 이식기 그리퍼의 개발 및 토양 상태에 따른 성능평가. 한국 농업기계학회지 3(1): 231-236.
2. 박홍제. 1993. 고속 식부기계 설계를 위한 컴퓨터 시뮬레이션 프로그램 개발. 석사학위 논문. 서울대학교 대학원
3. ADAMS User's Kit. 1998. Mechanical Dynamics, Inc., USA
4. Brewer, H. L. 1994. Conceptual modeling automated seeding transfer from growing trays to shipping modulus. Transactions of ASAE 37(4): 1043-1051
5. Hassan, A. E. and W. H. Haddock. 1991. Packing of pine seedlings using soil failure criteria. Transactions of ASAE 34(2): 695-698