

# 플러그묘 용 자동 묘 취출장치 개발

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

최원철\*, 김대철\*\*, 김경욱\*

W. C. Choi, D. C. Kim, K. U. Kim

### 1. 서론

배추 생산은 경운 및 방제 작업을 제외하면 아직까지 대부분 인력에 의존하고 있다. 배추 생산에 필요한 노동 투하량은 10a당 약 149시간으로서(농진청, 1995), 이 중 정식 작업과 수확 작업이 차지하는 비율은 각각 22.4%, 26.8% 정도이다(정, 1988). 또한 정식 작업과 수확 작업은 노동 강도가 매우 높기 때문에 일찍부터 기계화의 필요성이 강조되어 왔다. 최근 농업기계화 연구소에서는 배추 재배 일관기계화 시스템 개발 과제를 추진하면서, 배추 정식기에 사용될 묘 취출장치를 개발하기로 하였다. 본 연구는 이 과제의 일부분으로서 플러그묘용 묘 취출 장치를 개발하기 위하여 수행되었다.

### 2. 설계 조건

취출장치가 사용될 배추 정식기는 김장 배추를 대상으로 하였으며, 목표 제원으로서 정식 속도와 정식 능률을 각각 0.2-0.3 m/s, 60분/10a으로 하였다. 이러한 목표 제원을 구현하기 위하여 취출장치의 기본 설계 조건을 다음과 같이 설정하였다.

(1) 묘취 속도: 20 EA / min

(2) 플러그 묘판

구멍수: 200 (10 x 20)

구멍의 형상: 표면: 23 x 23 mm

밑면: 9.5 x 9.5 mm

구멍의 높이: 44 mm

구멍의 간격: 25 mm

(3) 플러그묘

연령: 18-23일

엽장: 35-45 mm

엽폭: 20-30 mm

(4) 구조가 간단할 것.

### 3. 기구 설계

취출장치의 기능은 첫째, 묘를 취출하여 정확한 위치에 배출하기 위한 적절한 궤적을 가져야 하며 둘째, 취출과 배출이 정해진 위치에서 확실하게 이루어져야 한다. 이러한 기능을 수행하기 위하여 취출장치를 궤적 구현부, 취출핀 구동부, 취출핀 3가지 장치로 구성하였다.

가. 궤적 구현부

취출핀의 궤적은 취출 성능을 결정할 뿐만 아니라 취출장치 전체의 구조와 크기를 결정하는 중요한 부분이다. 묘를 취출할 때 취출핀은 묘판에 직각인 방향으로 직선 운동을 하여야 하며, 배출할 때는 하향으로 이동한 후 묘의 관성을 고려하여 연직선에 이르기 전에 배출하여야 한다. 이러한 점을 고려하여 궤적 구현부의 설계 조건을 다음과 같이 설정하였다.

(1) 취출핀이 묘의 뿌리흙에 충분히 삽입될 수 있도록 취출핀의 궤적은 최소한 44 mm 이상의 직선 구간을 가져야 한다.

(2) 묘의 배출 위치는 배출시 수평선을 기준으로 75° 하향인 지점으로 한다.

(3) 구조 및 제작이 간단하여야 한다.

설계 조건을 만족할 수 있는 기구를 구상하여 그림 1에서와 같은 5절 기구를 설계하였다. 5절 기구는 구동링크, 피동링크, 고정링크, 슬라이드, 구동링크와 슬라이드를 연결하는 연결링크로 구성되며, 슬라이드는 피동링크 상에서 직선과 원호를 결합한 고정 슬롯을 따라 제한 운

\* 서울대학교

\*\* 한국 기계 연구원

동을 하도록 하였다.

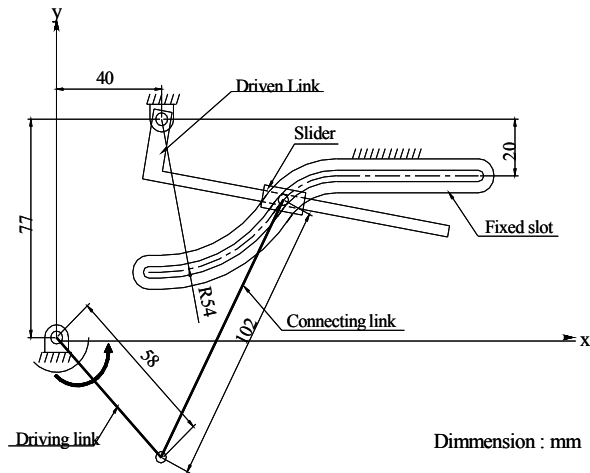


Fig. 1 Pick-up mechanism.

그림 1에서와 같이 슬라이드가 오른쪽으로 직선 슬롯을 따라 이동하면 취출핀은 묘의 뿌리쪽으로 삽입되며 서서히 압력을 가하며 묘를 잡는다. 반대로 슬라이드가 직선 슬롯을 따라 왼쪽으로 이동하면 취출핀은 묘판에서 묘를 잡고 나온다. 슬라이드가 직선 슬롯의 끝에서 중심이 피동링크의 회전 중심과 같은 원호 슬롯을 따라 계속 이동하면 취출핀은 묘를 배출하는 위치에 도달한다. 취출핀이 묘를 배출하면 슬라이드는 한 사이클의 공정을 완료하며 다시 직선 궤적부를 돌아가 같은 공정을 반복한다.

나. 취출핀 구동부

취출핀 구동부는 취출핀이 묘판에서 묘를 분리하여 배출 위치까지 이송하고, 정확한 위치에서 묘가 배출될 수 있도록 취출핀을 구동하는 장치이다. 따라서, 취출핀 구동부는 다음과 같은 조건을 만족하여야 한다.

- (1) 정확한 위치에서 묘의 취출과 배출이 이루어져야 한다.
- (2) 취출 위치에서 배출 위치까지 묘를 이송하여야 한다.
- (3) 취출과 배출 과정에서 묘의 뿌리흙이 파괴되지 않아야 한다.

몇 차례의 시도 끝에 그림 2에서와 같이 취출핀이 부착된 2개의 안내판과 플런저로 구성된 취출핀 구동부를 고안하였다. 플런저는 안내판 사이를 왕복할 수 있도록 하였으며, 안내판

의 피봇점은 플런저 머리의 위치에 따라 취출핀이 열리고 닫힐 수 있도록 설치하였다. 취출핀이 열린 경우에도 묘가 배출되지 않는 경우를 고려하여 플런저에 연결된 배출링을 설치하여 묘가 완전히 배출될 수 있도록 하였다.

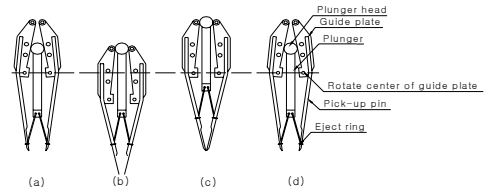


Fig. 2 Pick-up process.

취출핀 구동부의 작동 과정은 다음과 같다. 그림 2(a)에서와 같이 플런저가 정지한 상태에서 안내판 조합이 전진하면 취출핀은 묘에 삽입되며 입구가 닫힌다. 안내판 조합은 그림 2(b)와 같은 상태에 이를 때까지 전진한다. 이 상태에서 묘를 잡은 후 안내판 조합과 플런저 전체는 일체가 되어 그림 2(c)에서와 같이 후진한다. 배출 위치에서는 플런저가 그림 2(d)에서와 같이 전진하여 취출핀이 열리게 된다. 이 때 플런저에 연결된 배출링도 함께 이동하여 묘를 취출핀에서 완전히 밀어낸다. 이 과정이 끝나면 안내판 조합이 다시 전진하여 같은 과정을 반복한다.

안내판은 묘판에 접근하는 취출핀의 궤적을 결정하며, 플런저 머리는 안내판의 회전각을 결정한다. 따라서 안내판과 플런저를 이용한 취출핀의 자세 조정은, 취출핀의 궤적을 용이하게 변경할 수 있기 때문에, 플러그묘의 형상이 다른 경우에도 안내판과 플런저의 형상을 변경하여 묘를 쉽게 분리할 수 있다.

다. 취출핀

취출핀은 직접 묘를 취출하고 배출 위치까지 이송하는 역할을 한다. 취출핀은 상토 즉, 묘의 뿌리흙에 삽입되는 부분이므로 직경이 굵은 경우에는 흙이 파손될 수 있다. 취출핀의 설계 조건은 다음과 같이 설정하였다.

(1) 상토에 삽입될 때 상토가 파괴되지 않아야 한다.

(2) 묘를 이송할 때 묘가 빠지지 않아야 한다.

취출핀은 상토가 파괴되지 않도록 끝부분을 납작하게 설계하였으며 탄성이 큰 스프링강을 사용하였다. 예비 실험에서 직경이 4 mm인 핀을 사용하였을 때 상토가 파괴되었다. 따라서, 직경을 3 mm로 줄이고, 상토에 삽입되는 부분은 두께가 1 mm가 되도록 가공하였다.

그림 3은 묘를 취출할 때와 배출할 때 취출핀의 작동 상태를 나타낸 것이다.

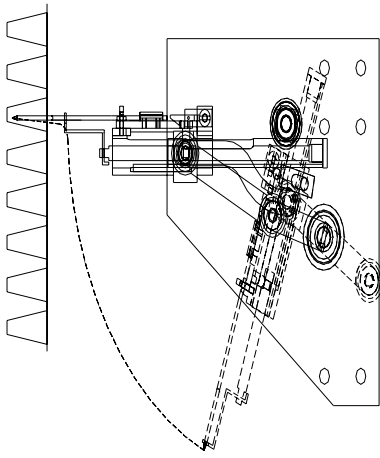


Fig. 3 Pick-up trace.

#### 4. 기구 분석

ADAMS를 이용하여 이상에서 설계한 취출장치의 속도, 가속도, 구동 토크를 분석하였다. 그림 4는 모델링된 모습이다.

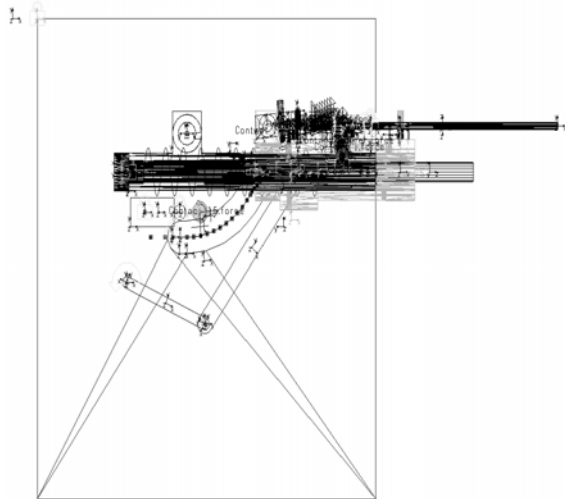


Fig. 4 A pick-up mechanism modeling.

시뮬레이션은 30rpm의 속도로 실시하였다. 결과 그래프에서 보는 구동각은 모델링된 위치를 기준으로 한 것이다.

그림 5와 6은 각각 시계 방향과 반시계 방향으로 구동하였을 때의 취출핀 끝의 속도이다. 구동 링크의 회전 방향에 따른 취출핀 끝의 속도는 큰 차이가 없으며 방향이 대칭이 되어 나타났다. 그림 7과 8은 각각 시계 방향과 반시계 방향으로 구동했을 때의 취출핀 끝부분의 가속도이다. 가속도 역시 큰 차이를 보이지 않았다.

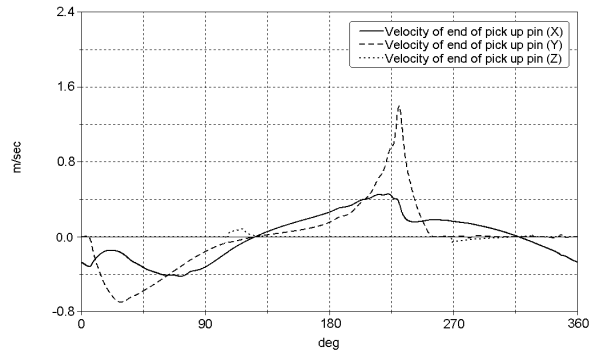


Fig. 5 Velocity of pick-up pin (CW).

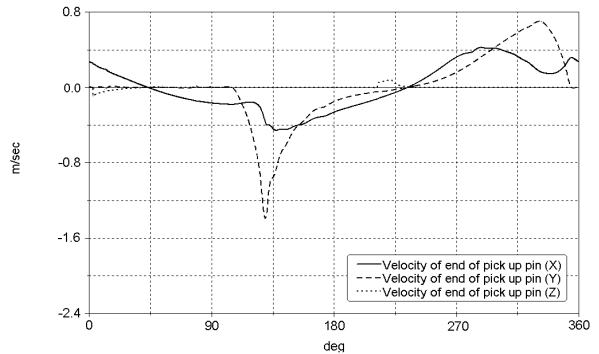


Fig. 6 Velocity of pick-up pin (CCW).

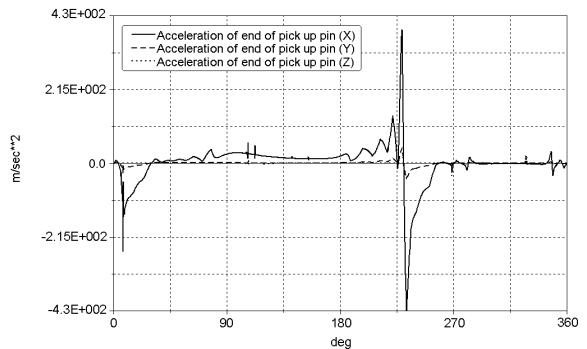


Fig. 7 Acceleration of pick-up pin (CW).

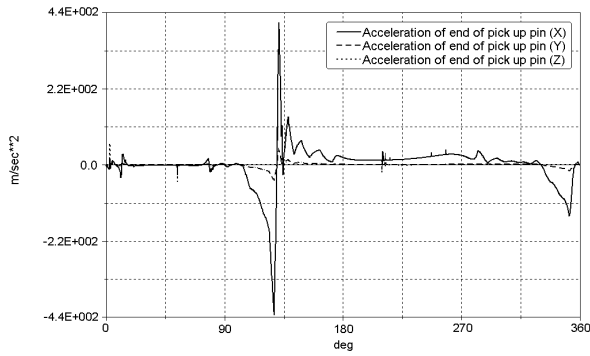


Fig. 8 Acceleration of pick-up pin (CCW).

그림 9와 10은 각각 시계 방향과 반시계 방향으로 구동했을 때 소요되는 구동 토크이다. 시계 방향의 경우, 소요토크의 최대값이 약 5 N·m인 반면 반시계 방향의 경우, 약 2.4 N·m로 나타났다. 구동 링크가 시계 방향으로 회전할 경우 취출-배출과 배출-취출 구간에 대한 구동 링크의 회전각은 각각 189°와 171°이었다. 따라서 구동 방향에 따른 취출핀의 가속도 및 속도는 큰 차이가 없으므로 구동 토크를 비교하여 구동 링크의 회전 방향을 반시계 방향으로 결정하였다.

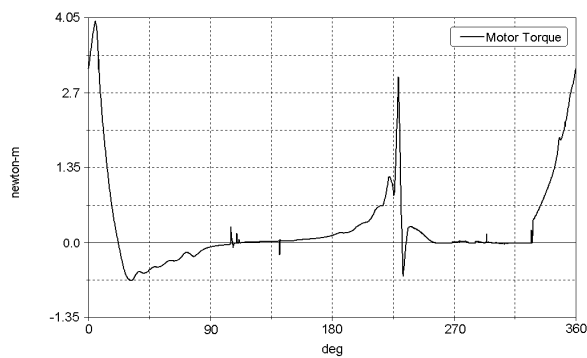


Fig. 9 Torque required (CW).

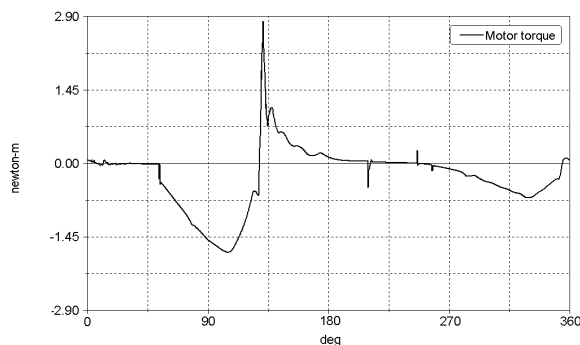


Fig. 10 Torque required (CCW).

## 5. 시작기 평가와 수정

설계한 취출장치의 기능과 성능을 평가하기 위하여 그림 11에서와 같이 시작기를 제작하였다. 시작기 평가 시험에서는 플런저의 지름을 15 mm로 하였으며, 구동 링크의 속도는 30 rpm으로 하였다. 시작기 평가 시험에서는 취출핀이 묘판으로부터 묘를 취출하지 못할 때, 취출핀이 묘 뿌리혹을 1/4 이상 파괴할 때, 취출핀이 묘의 잎을 심하게 찢을 때, 이송 도중 묘가 취출핀에서 떨어지거나 뿌리혹이 부서질 때는 취출장치의 기능이 실패한 것으로 평가하였다. 평가 결과 기능이 실패한 경우는 발생되지 않았으나 몇 가지 문제점이 발생되어 다음과 같이 수정하였다.



Fig. 11 Prototype of seedling pick-up device.

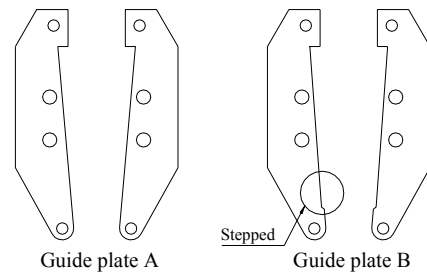


Fig. 22 Guide plate with a step of 1 mm.

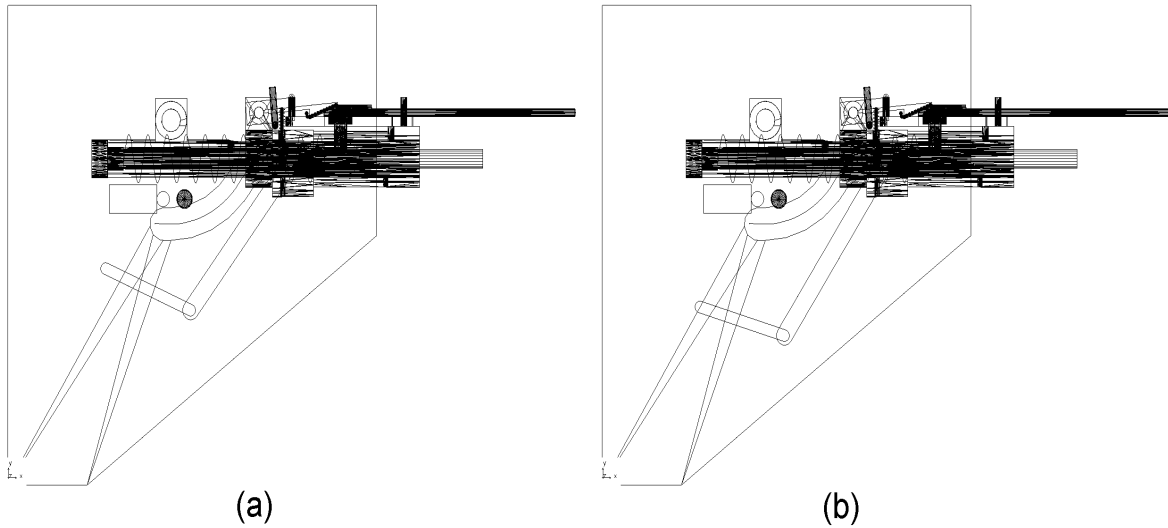


Fig. 33 Before and after modification.

(1) 묘의 앞이 영키고, 배출링의 길이가 짧아 취출핀으로부터 묘가 잘 분리되지 않는 경우가 발생하여 배출링의 길이를 5 mm 길게하였다.

(2) 취출핀의 간격이 커서 셀의 모서리와 충돌하는 경우가 발생하였다. 이는 플런저 지름을 15 mm에서 14 mm로 줄여 취출핀이 뿌리흡으로 진입하였을 때의 간격을 18 mm, 완전히 묘를 취하였을 때의 간격을 2.5 mm로 하여 해결하였다. 취출핀이 열렸을 때의 적절한 간격은 묘판의 셀 폭보다 2-3 mm 적은 것으로 판단된다.

(3) 묘를 취출하였을 때 취출핀과 뿌리흡의 접촉 길이는 진입할 때보다 약 5-6 mm 감소되므로 취출핀의 길이를 가능한한 길게하여 취출핀과 뿌리흡의 접촉 길이를 길게하였다.

(4) 취출핀의 끝부분을 편편하게 하여 등글 때보다 묘를 잡는 면적을 크게함으로써 보다 안전하게 묘를 잡을 수 있도록 하였다.

(5) 그림 12와 같이 안내판에 1 mm 높이의 계단을 두어 묘취할 때 묘를 잡는 취출핀의 지지력을 증가시켰다.

(6) 전반적으로 취출장치의 작동 상태와 묘취 및 배출 기능은 우수한 것으로 평가되었다. 그러나 구동 링크의 속도를 40 rpm으로 증가시켰을 때는 취출핀의 가속도가 최대인 지점에서 묘가 취출핀에서 빠지는 문제가 발생하였다. 이 문제를 해결하기 위하여 시뮬레이션 방법으로 묘의 취출과 배출 위치를 변경하기 않고 구동 링크의 회전 중심의 위치를 연직 방향으로 20

mm 이동하여 40 rpm일 때 취출핀의 최대 가속도를 30 rpm일 때의 약 77% 수준으로 감소시켰다. 그림 13은 링크의 위치를 변경하기 전과 변경한 모델링 모습이며 그림 14는 수정전 30 rpm으로 구동했을 때와 수정 후 40 rpm으로 구동했을 때의 가속도를 비교한 것이다.

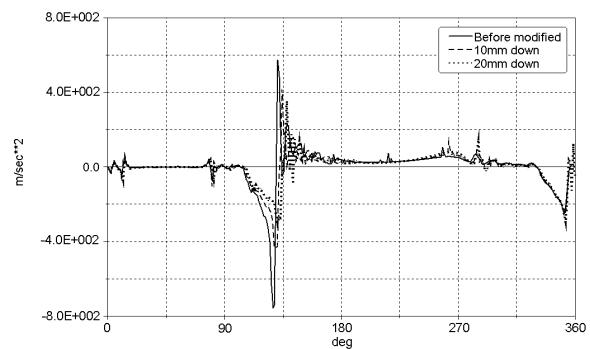


Fig. 44 Acceleration at modified.

## 6. 성능 시험

구동 링크의 위치를 제외한 나머지 부분을 수정하여 수정된 시작기를 제작, 실험실에서 성능 시험을 실시하였다.

성능 시험에 사용된 묘는 육묘공장에서 생산된 18일 플러그묘와 23일 플러그묘 두 종류를 사용하였다. 표 1은 시험에 사용된 18일 묘와 23일 묘를 각각 10개씩 임의로 선정하여 측정된 엽면적, 엽수, 엽장 등을 나타낸 것이다.

Table 1 Characteristics of plug seedlings

Age of seedlings	18 days	23 days
Lead area, cm <sup>2</sup>	15.4	28.5
No. of leaves	3.4	4.2
Leaf length with leafstalk, mm	48.2	73.6
Leaf length, mm without leafstalk	35.5	47.3
Leaf width, mm	21.1	28.4

본 연구에서 대상으로 한 플러그묘는 가을 배추로서 떡잎을 포함한 본엽이 5~6매 정도일 때 이식하는 것이 바람직하다. 시험에 사용된 18일 묘는 정식에는 문제가 없었으나 일반적으로, 정식하기에는 약간 이른 상태이었다. 묘의 이식 시기가 늦어질수록 토양에서의 활착이 좋지 않기 때문에 본 실험에서는 18일 묘를 대상으로도 실험을 실시하였다. 묘는 시험하기 1일 전에 관수하였으며, 시험할 때의 함수율은 습량 기준으로 18일 묘가 75.8%, 23일 묘가 75.4% 이었다.

시험은 표 2에서와 같이 묘의 나이, 안내판의 형식, 취출판의 묘 접근 방향, 취출판의 뿌리흡 관입 깊이, 구동 링크의 속도에 따라 7가지 조건을 설정하여 수행하였다. 안내판의 형식은 1 mm 높이의 계단을 주지 않는 경우(A)와 주는 경우(B), 취출판의 묘 접근 방향은 셀의 상부(U), 중앙(M), 하부(L) 3방향으로, 취출판의 관입 깊이는 38 mm와 41 mm로, 구동 링크의 속도는 30 rpm과 40 rpm으로 구분하였다. 각 조건에서 취출장치는 최소한 68 내지 136개의 묘를 취출하였으며, 그 결과를 이용하여 성능을 평가하였다.

Table 2 Operational conditions for performance test

Condition No.	1	2	3	4	5	6	7
Seedling age, days	23	23	23	23	18	23	23
Guide plate type	B	A	B	B	B	B	B
Approach direction	L	L	M	M	M	U	M
Penetration depth, mm	41	41	41	41	41	41	38
Driving velocity, rpm	30	30	30	40	30	30	30

시작기 평가에서와 같이 취출 실패와 뿌리흡의 파괴는 취출장치의 기능이 실패한 것으로 하였으며, 뿌리흡의 파괴는 파괴 정도에 따라 하부 흡의 1/4 이하가 파괴된 경우는 하부 파괴, 상부 흡의 1/4 이하가 파괴된 경우는 상부 파괴, 뿌리흡 전체의 1/4 이상이 파괴된 경우는 전체 파괴로 구분하였다. 취출판에 의하여 잎이 찢어진 경우도 기능의 실패로 간주하였으나, 예비 시험 결과에 의하면 이는 정식후 배추 성장에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 판명되었다. 이러한 점을 고려하여 묘취기구의 성공률은 다음과 같이 정의하였다.

$$\text{성공률}(\%) = \frac{\text{공급된묘의총수} - \text{기능실패수}}{\text{공급된묘의총수}} \times 100$$

$$\text{기능 실패 수} = \text{취출 실패 수} + \text{뿌리흡 파괴 수} + \text{잎의 손상 수}$$

묘판의 셀에 묘가 없는 경우는 공급된 묘의 총수에 포함되지 않았다. 성공률은 취출장치가 얼마나 성공적으로 묘의 묘취, 이송, 배출 기능을 수행하였는가를 나타내는 것이라고 할 수 있다.

## 7. 결과 및 고찰

성능 시험의 결과는 표 3에서와 같이 나타났

Table 3 Results of performance test

Condition No.	1	2	3	4	5	6	7
No. of seedling cells feed	136	136	136	136	68	68	68
No. of missing seedlings	1	0	12	5	3	1	1
No. of extraction failures	3	16	1	2	6	2	0
Soil breakage Lower	8	7	3	4	2	0	2
Upper	0	0	0	0	0	0	2
Whole	2	1	3	4	5	7	2
Leaf damage	1	0	0	0	0	0	0
Success ratio*	89.6	82.4	94.4	92.4	80.0	86.6	91.0
Success ratio†	96.3	87.5	96.8	95.4	83.1	86.6	94.0

\* Extration failure, soil breakage and leaf damages were all counted.

† Only extraction failure and whole soil breakage were counted.

다. 기능 실패는 대부분 묘취 실패로 나타났으며, 뿌리흙은 주로 하부쪽에서 파괴되었다. 전체 뿌리흙의 1/4 이상이 파괴된 경우도 있었으나, 잎이 손상된 경우는 거의 나타나지 않았다.

취출 실패가 많았던 경우는 안내판에 계단을 두지 않고 취출핀의 묘 접근 방향이 아래쪽인 경우, 그리고 18일 묘를 사용한 경우로 나타났다. 이 때의 성공률은 각각 82.4%와 80.0%로서 가장 낮았다. 뿌리흙의 파괴가 가장 많았던 경우는 취출핀의 묘 접근 방향이 윗쪽인 경우이었으며, 성공률은 86.6%이었다. 취출 실패와 뿌리흙 전체의 파괴만을 고려하면 위의 성공률은 각각 87.5%, 83.1%, 86.6%로 증가되었다. 다른 조건의 경우에는 89.6-94.4%의 성공률을 나타내었으며, 취출 실패와 뿌리흙 전체의 파괴만을 고려하였을 때는 94.0-96.8%로 증가되었다. 성능 시험의 결과를 요약하면 상대적으로 우수한 성능은 다음과 같은 조건에서 나타났다.

- (1) 안내판에 1 mm의 계단을 만들었을 때
- (2) 취출핀의 접근 방향이 중앙일 때

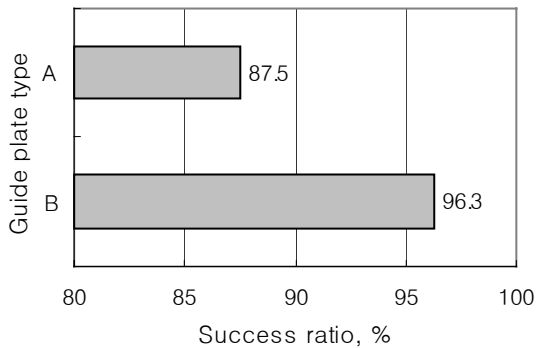


Fig. 15 Success ratio by type of guide plate.

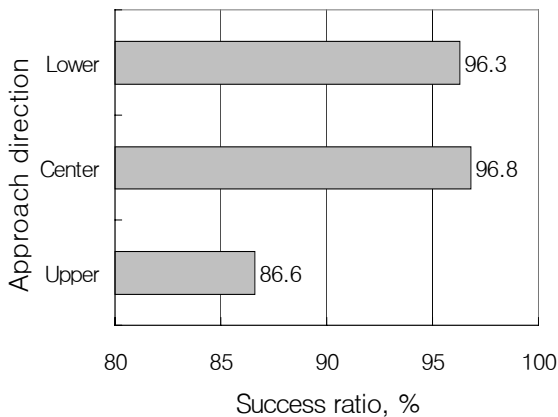


Fig. 16 Success ratio by approaching direction of pins.

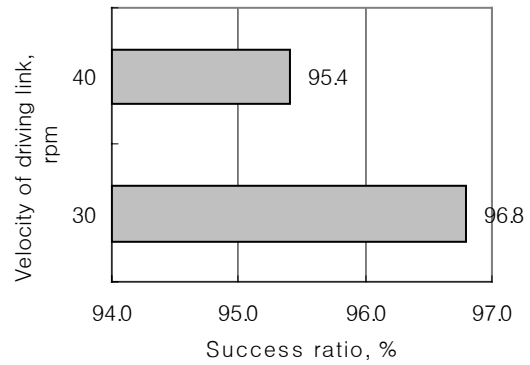


Fig. 17 Success ratio by velocity of driving link.

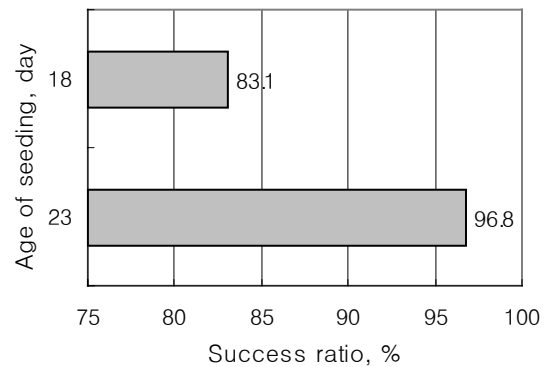


Fig. 18 Success ratio by age of seedling.

- (3) 구동 링크의 속도가 30 rpm일 때
  - (4) 23일 묘를 사용하였을 때
  - (5) 취출핀의 관입 깊이가 41 mm일 때
- 그림 15 -그림 19는 각각 안내판의 형식, 취

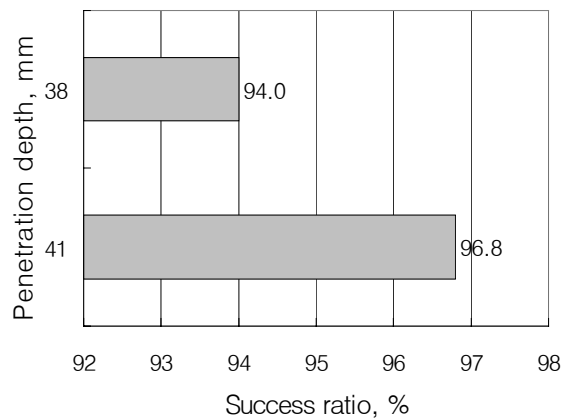


Fig. 19 Success ratio by penetration depth of pins.

출핀의 묘 접근 방향, 구동 링크의 속도, 묘의 나이, 취출핀의 뿌리흙 관입 깊이에 따른 취출 장치의 성공률을 나타낸 것이다.

그림 15에서와 같이 안내판에 계단을 주는 경우의 성공률은 96.3%로서 주지 않는 경우보다 8.8% 높았다. 안내판에 계단을 주는 것은 취출핀이 서서히 단으며 묘의 뿌리혹을 잡는 방식으로서, 삽입되어 잡는 방식 즉, 계단을 주지 않는 경우보다 취출 성능이 우수하기 때문인 것으로 판단된다. 취출핀의 묘 접근 방향은 셀의 중앙을 기준으로 위쪽과 아래쪽으로 각각 3.5 mm 이동한 방향을 상부와 하부로 하였을 때, 상부로 접근할 때의 성공률이 가장 낮았으며 중간과 하부로 접근하였을 때의 성공률은 96% 이상이었다. 그러나 상부와 하부로 접근하였을 때는 취출핀이 뿌리혹 밖으로 노출되는 경우가 있었으며 상부로 접근하였을 때는 묘판의 윗줄에 있는 묘의 잎을 손상시키는 경우도 발생하였다. 구동링크의 속도에서는 그림 17에서와 같이 30 rpm일 때의 성공률이 96.8%로서 40 rpm일 때보다 1.4% 높았다. 23일 생육한 묘와 18일 생육한 묘의 성공률은 각각 96.8%와 83.1%로서 다른 경우에 비해 현저한 차이를 보였다. 즉, 취출장치의 성공률은 묘의 생육 상태에 따라서도 큰 영향을 받는 것으로 판단된다. 취출핀의 뿌리혹 관입 깊이는 41 mm일 때의 성공률이 96.8%로서 38 mm일 때보다 2.8% 높았다.

## 8. 요약 및 결론

배추 정식기에 사용될 플러그묘의 취출장치를 개발하여 성능 실험을 실시하였다. 취출장치는 200공 묘판에서 묘를 취출하여 이식기구로 이송하며, 배출위치에서 배출하는 기능을 수행한다. 개발된 취출장치는 5절 기구로서, 구동링크, 피동링크, 연결링크, 슬라이드, 고정링크로 구성되어 있다. 연결링크는 구동링크와 슬라이드를 연결하며, 슬라이드가 피동링크와 고정된 직선 및 곡선 슬롯을 따라 제한 운동을 하여 필요한 궤적을 구현하도록 하였다. 슬라이드는 취출핀과 취출핀 구동장치로 대치될 수 있도록 하였다.

개발된 취출장치의 시작기를 제작하여, 묘의 나이, 안내판의 형식, 취출핀의 묘 접근 방향,

취출핀의 뿌리혹 관입 깊이, 구동 링크의 속도에 따라 7가지 조건에서 성능 시험을 실시하였다. 취출장치의 성능은 취출핀이 뿌리혹에 삽입되는 깊이가 깊을수록, 취출핀의 묘 접근 방향이 셀의 중앙을 향할수록, 안내판에 계단을 주어 취출핀이 뿌리혹을 서서히 잡으면서 취출할수록, 충분히 생육된 23일 묘를 사용할수록 높았으며, 취출 실패와 뿌리혹의 완전 파괴만을 고려하였을 때는 최대 성공률이 96.8%로 나타났다.

## 참고 문헌

1. 박홍제. 1993. 고속 식부기구 설계를 위한 컴퓨터 시뮬레이션 프로그램 개발. 석사학위논문. 서울대학교 대학원
2. 농촌진흥청. 1995. 농업과학기술의 세계화를 위한 중장기연구개발계획(안). p89
3. 정창주, 강화석, 김경옥, 김만수 외 5명. 1998. 전작, 원예, 축산 분야의 기계화 방향에 관한 연구. 한국농업기계학회
4. ADAMS User's Kit. 1998. Mechanical Dynamics, Inc., USA
5. Brewer, H. L. 1994. Conceptual modeling automated seeding transfer from growing trays to shipping modulus. Transactions of ASAE 37(4): 1043-1051
6. Hassan, A. E. and W. H. Haddock. 1991. Packing of pine seedlings using soil failure criteria. Transactions of ASAE 34(2): 695-698