당근수확기 개발(II)
- 설계요인시험 -
Development of Carrot Harvester(II)
- Design Factor Test -

최 용*	홍종태*	전현종*	김영근*	유수남**	김재동***
정회원	정회원	정회원	정회원	정회원	정회원
Y. Choi	J. T. Hong	H. J. Juni	Y. K. Kim	S. N. Yoo	J. D. Kim

1 서 론

당근 수확작업에 대한 기계화 요구도가 높은 반면에 아직까지 수확작업의 기계화는 그다지 진전되지 못하고 있는 실정이다. 지금까지의 당근 등 근채류의 수확작업은 경운기용 또는 트랙터용 굴취기를 이용하여 작물을 지상위로 노출시키고 인력으로 수집하는 방법이 대부분이며 흙이나 돌 등 협잡물의 선별은 곤란하다. 또한 줄기절단 등 수확 후처리 작업이 기계화되지 못해 노동부담이 크다.

따라서 본 연구에서는 당근 등 근채류의 줄기부분을 협지(挾持)하여 인발(引拔)하고 이송중에 작물의 잎을 절단하고 작물만 상자에 담아 획기적으로 생력화를 도모 할 수 있는 인발식으로 하여 우리 실정에 알맞는 고능률, 고정도의 자주형 당근수확기 개발하는데 그 목적이 있으며 제1보에서 당근수확기의 개발방향 및 설계에 필요한 각부 제원 설정을 위해서 지역별 재배양식을 조사하여 기계화 표준 재배양식을 설정하고, 당근 및 재배포장의 물리적 성질 등 관련 기초조사를 실시하였으며 본보에서는 당근의 인발력을 최소화하여 손상 없이 일정한 자세로 효과적으로 인발할 수 있도록 하기 위하여 주요 핵심장치의 설계요인을 구명하였다.

2 재료 및 방법

가. 당근수확 시작기 제작

1) 굴취부

인발 및 잎절단 설계요인시험에 앞서 굴취시 토양파쇄효과와 소요견인력을 조사하기 위하여 굴취날 시험장치를 그림 1과 같이 제작하여 시험하였다. 굴취방법은 당근의 좌우 측방의

* 농촌진흥청 농업기계화연구소 생물생산기계과

** 전남대학교 농공학과

*** 두루기계통상

토양을 진동하여 절삭 및 파쇄하도록 설계 제작하였다. 이 측방절삭형 굴취날의 장점은 바닥날이 없으므로 경심유지가 용이하다. 굴취날은 4줄의 당근을 인발하려면 5개가 필요하나 굴취날의 토양파쇄효과를 심도있게 분석하기 위하여 당근 측방 굴취날 3개를 부착였으며 굴취날의 구조는 밑날을 착탈할 수 있도록 하였고 밑날각을 조절할 수 있도록 제작하였다. 또한, 굴취부의 진동은 트랙터의 PTO 동력을 취출하여 편심캠을 통해 진동수 및 진동폭을 조절하며 부가할 수 있도록 하였다.

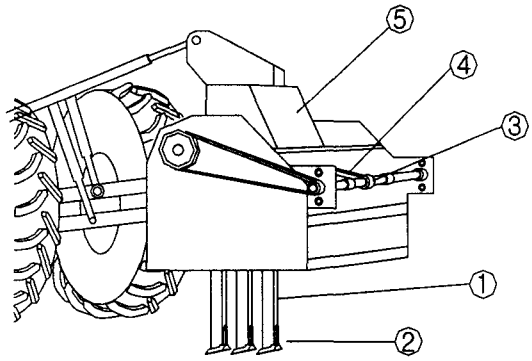

Fig. 1 Digging device of the equipment.

① Digging blade ② Under soil blade
③ Vibration cam ④ Vibration arm ⑤ Gear box

소요견인력은 농업기계화연구소에서 견인력 계측트랙터를 이용하여 트랙터에 부착한 굴취시험장치 날의 형상 및 진동유무에 따른 소요견인력을 측정하기 위하여 계측 트랙터의 양쪽 바퀴에 토크센서를 설치하고 계측된 신호값을 슬립링을 통하여 토크미터로 전송되도록 구성하였다.

2) 인발부

인발 시험장치는 4줄의 당근을 동시에 수확 할 수 있도록 조간거리는 20cm로 하여 제작하였다. 인발방법은 당근 측방의 토양을 고정굴취날을 이용하여 파쇄하고, 쳐진 당근의 잎을 걷어올림 체인으로 걷어올린 후 연질고무(리나텍스고무, 고무경도 40)가 부착된 B형 V벨트에 의해 당근의 잎을 잡고 인발한다. 이때 B형 V벨트의 동력전달을 위한 풀리의 최소 PCD 직경은 100mm이나 B형 V벨트에 6mm의 리나텍스 고무를 부착하였으므로 최소 PCD직경은 그보다 더 커져야 한다. 그러므로 인발벨트의 풀리를 일렬로 배치할 수 없으므로 밀식재배에 대응 할 수 있도록 풀리를 복열로 배치하여 조간거리 20cm에 대응하도록 하였다. 인발각도 조절은 25°~45°까지 조절하도록 하였고 인기러그는 각도 및 높이를 조절할 수 있도록 하였다.

3) 잎 절단부

위치유도식 회전원판날형 잎 절단장치는 불규칙적으로 뻗혀져 올라오는 당근을 인발벨트와의 각도차이를 이용하여 당근의 잎을 협지한 인발벨트에 의해 당근은 위쪽으로 끌어 올려지고 가이드 벨트(원형벨트)가 당근뿌리와 잎의 직경차이를 이용하여 절단위치에 이르면 당근이 더 이상 올라가지 못하도록 당근을 붙잡아 절단날에 유도하여 당근의 잎을 자르게 된다. 가이드 벨트는 당근의 손상을 주지 않고 당근의 잎과 뿌리의 직경차이를 감지 할 수 있는 10mm의 동력전달용 원형벨트를 사용하였다. 당근 잎의 절단날은 직경 75mm의 회전 원판날을 이용하였으며 날의 높이를 조절하여 절단위치를 5mm까지 조절 할 수 있도록 제작하였다.

나. 공시재료

1) 공시포장 및 당근

공시포장과 당근은 제1보에서 서술한 바와 같다.

다. 시험방법

1) 굴취시험

적정 굴취날의 형상 및 설계조건을 구명하기 위한 굴취시험은 농업기계화연구소의 작물이 재배되지 않은 사양토 시험포장에서 실시하였으며 굴취날의 밑날 유무별, 진동 유무별, 굴취깊이에 따른 토양파쇄효과 및 소요견인력을 조사 분석하였다. 토양파쇄효과는 굴취날 중앙에 당근이 있다고 전제하고 당근의 최대 길이를 고려하여 25cm까지 굴취하고 굴취 후에 두 굴취날의 중앙에 임의의 5개 지점에서 SR-2형 디지털 토양경도계를 이용하여 25cm까지의 토양관입저항을 측정하였다. 진동수는 360, 540, 720cpm으로 하였으며 진폭은 10, 20. 30mm까지 진동캠을 교체하여 시험하였다. 소요견인력은 농업기계화연구소의 계측트랙터에 굴취시험장치를 부착하여 시험하였다. 굴취날 배열은 | 자형 굴취날을 20cm 간격으로 3개를 설치하였고 4줄을 수확하려면 굴취날이 5개가 필요하므로 그때의 소요견인력을 환산하였다.

2) 인발시험

인발부의 설계인자로는 인발벨트의 종류, 인발각도, 인발가능범위, 주행속도와 인발벨트속도의 비 등이 있다. 인발각도는 기존에 보고된 인발식 근채류수확기의 인발각도를 고려하여 25° ,30° , 35° , 40° 범위에서 시험하였고, 주행속도와 인발벨트의 속도비는 1 : 1~1.5의 범위에서 인발율과 손상률을 비교하였다. 인발률 및 이송률 손상률은 4줄로 심겨진 포장에서 처리당 10m구간의 약 500개를 대상으로 조사하였다. 인발률은 굴취후에 당근을 인발벨트로 협지하여 지면에서 완전히 벗어났을 때까지의 당근의 개수이고, 이송률은 인발후에 이송도중 벨트에서 떨어지지 않고 절단부까지 이송된 당근의 개수이다. 손상률은 찍힘이나 잘림 등 상품성을 잃었다고 판단되는 당근을 육안으로 판별하였다.

3) 잎 절단시험

적정 잎 절단부 설계조건을 구명하기 위한 위치유도식 회전 원판날형 잎절단 시험장치를 제작하여 당근수확 시험장치에 부착하여 시험을 실시하였다. 요인시험은 처리당 50개를 인력으로 당근을 1개씩 공급하고 잎절단부를 통과시킨 후 잎의 절단정도를 조사하였다. 잎 절단정도는 절단후 남은 잎의 길이를 측정하였으며 남은 잎의 길이가 5mm이내 양호, 5~10mm 보통, 10mm이상은 재절단 작업이 필요한 것으로 판단하여 3단계로 분류하여 조사하였다. 위치유도식 회전 원판날형 잎절단 시험에서 이송율은 인발벨트에서 잎절단날까지 당근이 떨어지지 않고 도달하는 당근의 개수로 판단하였으며 잎 절단 r.m.s.값도 산출하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 굴취부 설계요인구명

1) 굴취날 형상별 당근 인발에 미치는 영향

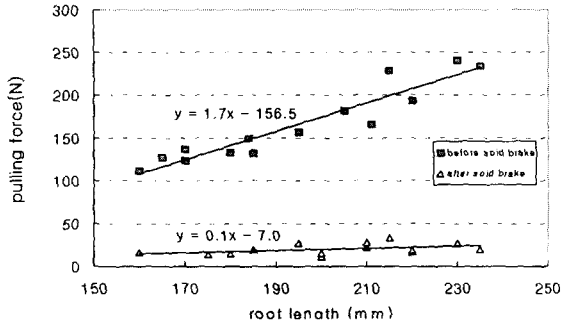

Fig. 2 Comparison of pulling force vs. root length with soil brake status.

적정 굴취날의 형상을 구명하기 위하여 실제 당근포장에서 인발력을 비교한 결과, 그림 2에 나타난 바와 같이 미굴취상태에서 111~233N이었으나 굴취후 11~33N 범위로 굴취날의 토양파쇄효과가 큰 것으로 나타났으며, 물성시험에서 당근 잎의 전단력 107~720N 보다 훨씬 낮아 당근을 인발할 때 잎을 모두 협지한다면 잎이 끊어지지 않고 당근을 인발할 수 있는 것으로 판단되었다.

2) 진동이 토양파쇄에 미치는 영향

가) 토양파쇄효과

측방 굴취날의 밑날을 제거한 상태로 진동유무에 따른 굴취깊이별로 관입저항을 측정한 결과, 굴취깊이 25cm에서 진동날, 굴취날 모두 관입저항이 260kPa 이하로 나타나 당근을 재배하고 있는 사질토, 사양토 포장에서의 굴취날의 진동이 토양파쇄에 미치는 효과는 없는 것으로 나타났다. 진동수는 360, 540, 720cpm으로 하였으며 진폭은 10, 20. 30mm까지 진동캠을 교체하여 시험하였으나 관입저항도 크게 변하지 않아 진동수 및 진폭의 영향도 사질토, 사양토 포장에서는 크게 미치지 않는 것으로 나타났다. 그림 5는 작업속도 0.2m/s, 진동수 540cpm, 진폭 20mm로 굴취했을 때의 굴취깊이에 따른 관입저항을 나타냈으며, 그림 6은 작업속도 0.2m/s로 진동을 주지 않고 굴취했을 때의 관입저항을 굴취깊이별로 나타내었다.

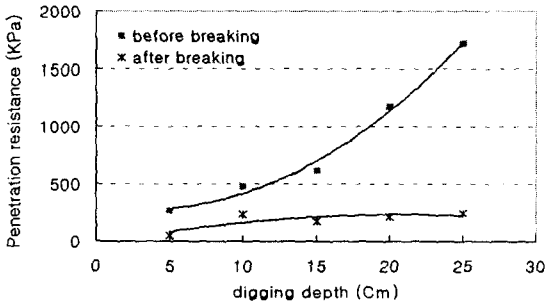

Fig. 3 Effect of digging depth on penetration resistance under vibration blade.

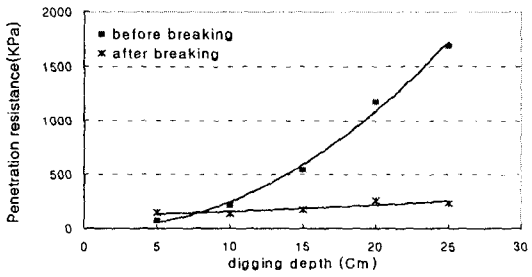

FIg. 4 Effect of digging depth on penetration resistance under non-vibration.

나) 소요견인력

굴취깊이에 따른 진동날과 무진동날을 이용하여 굴취하고 소요견인동력을 측정하여 비교하였다. 시험결과 그림 7과 같이 굴취깊이 20cm에서는 10~12kW범위였고 굴취깊이 25cm에서는 12~13kW범위로 진동이 소요견인력에 미치는 영향은 크지 않는 것으로 판단되었다.

진동수는 트랙터 PTO와 기어비를 변화하여 360, 540, 720cpm으로 하였으며 진폭은 10, 20. 30mm까지 진동캠을 교체하여 소요견인력을 조사하였으나 큰 차이가 나타나지 않아 굴취날의 진동수 및 진폭이 사질토와 사양포 포장에서는 소요견인력에 미치는 영향이 크지 않은 것으로 판단되었다.

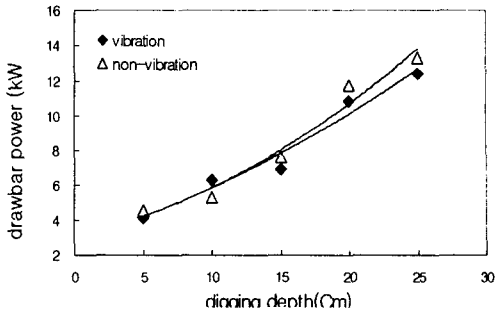

Fig. 5. Compression of pulling force under vibration each digging depth

나. 인발부 설계요인 구명

1) 주행속도와 인발벨트 속도와의 관계

주행속도와 인발벨트 속도가 같을 경우 당근이 벨트 풀리에 의해 밀리면서 인발하지 못하거나 손상이 많이 발생되었고 속도비가 너무 클 경우 당근이 인발되면서 벨트와의 마찰에 의해 인발벨트의 모서리에 당근 잎이 절단되어 인발을 못하거나 인발된 당근도 이송 중에 떨어지는 현상이 발생되어 인발율이 저조하게 나타났다.

Table 1. Pulling degree by speed ratio of vehicle and pulling

speed ratio of vehicle and pulling	pulling rate (%)	damage rate (%)
1 : 1	78	11
1 : 1.1	84	7
1 : 1.2	89	2
1 : 1.3	92	1
1 : 1.5	85	2

2) 인발각도가 당근의 인발에 미치는 영향

적정 인발각도를 구명하기 위하여 주행속도 0.15m/s, 인발속도 0.18m/s으로 시험 한 결과, 표 1과 같이 인발각도 40 ° 에서 인발율 93%, 손상률 1%로 나타났다. 여기서 인발율이 낮은 이유는 굴취부와 인발부가 두 크로울러의 중앙에 위치하지 못해 주행부의 직진성이 확보되지 않아 발생되는 것으로 판단되었다. 그러므로 당근수확기 설계시 인발율을 높이기 위해서는 굴취 · 인발부가 주행부 크로울러의 중앙에 위치해야 하는 것으로 판단되었다.

Table 1 Comparison of pulling rate and damage rate for pulling angle

Pulling angle (°)	Pulling rate (%)	Damage rate (%)
25	79	3
30	85	5
35	89	2
40	93	1

Table 2 Comparison of pulling rate and damage rate for operating speed

Operating speed (m/s)	Pulling rate (%)	Damage rate (%)
0.15	92	1
0.20	92	2
0.25	91	2
0.30	87	3
0.33	86	4

3) 작업속도에 따른 인발정도

적정 작업속도 구명을 위하여 주행과 인발벨트의 속도비는 1 : 1.3 으로 하고 인발각도를 40° 로 고정하여 작업속도별로 시험 한 결과 0.25m/s까지는 인발율 91%, 손상률 2% 이내로 나타났으나 0.3m/s부터는 인발율이 떨어져 작업속도는 0.25m/s 까지 가능 한 것으로 판단되었다.

다. 잎 절단부 설계요인 구명

1) 인발부와 잎 절단부의 각도차에 따른 절단정도

위치유도식 회전가위날형 잎 절단방법은 인발부와 절단부와의 각도차이를 이용하여 당근의 절단위치를 유도하므로 절단부와의 각도는 당근수확기에서 중요한 설계인자이다. 시험결과 표 3에 나타난 바와 같이 협지길이는 5cm, 잎 개수는 4개 이상일 때 각도가 40 ° 까지는 이송률은 99% 이상이었으나, 45 ° 에서는 협지벨트가 당근의 잎을 끌어올리는 속도가 너무 빨라서 당근잎이 끊어져 이송률이 94%로 나타났다. 잎 절단정도는 45 ° 에서 r.m.s.값이 3.32mm로 가장 양호하였으나 이송률을 감안하여 인발부와 잎 절단부와의 각도는 40 ° 가 가장 바람직한 것으로 판단되었다.

Table 3 Comparison of feeding rate and leaves cutting degree for pulling angles

Pulling angle (°)	Feeding rate (%)	Leaves cutting degree(%)				
		Damage	0~5mm	5~10mm	10mm above	r.m.s. (mm)
30	100	0	47	41	12	7.19
35	100	0	70	23	7	5.76
40	99	0	91	9	0	3.95
45	94	0	93	6	1	3.32

2) 잎의 협지높이 및 개수가 잎절단에 미치는 영향

인발형 수확기로 당근을 수확 할 때 두둑의 편평도가 다르고, 또한 복열식 풀리 구조에서 당근의 협지높이는 다를 수밖에 없으며 최초 협지높이에 따라 잎 절단정도에 미치는 영향이 크므로 적정 협지범위를 설정하기 위하여 시험 한 결과, 인발벨트와 당근 선단과의 거리가 5cm이내일 때는 이송률 100%, 손상률 0, 잎 절단 r.m.s. 값은 3.95mm로 가장 양호하였으며 6~10cm일 때 이송률 100%, 손상률 0, 잎 절단 r.m.s. 값은 5.62mm 로 나타나 협지길이가 10cm까지는 절단정도가 양호 한 것으로 나타났다.

Table 4 Comparison of conveying rate and rate of leaves cutting for No. of gripping leaves

Gripping each	Feeding rate (%)	Rate of leaves cutting (%)				
		Damage	0~5mm	5~10mm	Above 10mm	r.m.s. (mm)
Upper 4 ea.	100	0	91	9	0	3.95
3 ea.	100	0	27	67	6	7.64
2 ea.	95	0	10	81	9	8.71
1 ea.	40	0	27	40	33	10.6

실제 수확시기의 당근은 잎이 쳐지게 되고 인발벨트로 협지시 협지벨트에 물리지 않고 일부만 협지하는 경우가 발생된다. 협지한 잎의 개수가 많을수록 잎의 전단력이 커져서 이송률이 높고 협지한 잎의 개수가 적으면 이송 중 잎이 끊어지거나 절단부에서 절단위치 유도 가이드 벨트에 영향을 미쳐 절단정도가 떨어지는 것으로 나타났다. 협지한 잎의 길이를 5cm로 하고 잎의 개수별로 시험한 결과, 표 4에 나타낸 바와 같이 협지한 잎의 개수가 4개 이상일 경우 이송률 100%, 손상률 0, 잎 절단 r.m.s. 값은 3.95mm로 가장 양호하였으며 잎의 개수가 3개일 경우에도 이송률 100%, 손상률 0, 잎 절단 r.m.s. 값은 7.64mm로 재손질 없이 출하가 가능한 수준으로 나타났다.

4. 요약 및 결론

본 연구는 4줄의 당근을 동시에 인발하여 이송 중에 잎을 절단하고 당근만 수집할 수 있는 인발형 당근수확기의 핵심장치의 설계요인을 실내시험 및 포장시험을 실시하여 주요설계인자를 도출 한 바 이들 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 당근의 인발력과 잎의 전단력을 측정하여 분석한 결과, 인발력은 미굴취상태에서 111~233N이었으나, 굴취 후 11~33N으로 당근잎의 인장파단력 107~720N보다 작게 나타나, 굴취하지 않고 뽑는 것은 불가능하나 굴취하여 토양을 파쇄한 후에는 당근의 잎을 협지하여 인발하는 것이 가능한 것으로 나타났다.
2. 굴취날의 진동 유무별, 진동수 및 진폭별로 토양파쇄효과와 소요견인력을 측정 한 결과, 진동에 상관없이 260kPa 이하로 나타났으며, 소요견인력은 12~13kW로 나타나 당근을 주로 재배하는 사양토 포장에서는 진동 유무에 따라 큰 차이가 없어 구조가 간단하고 소요동력이 적은 무진동 고정 굴취날이 바람직 한 것으로 나타났다.
3. 당근 인발시험장치를 4줄수확이 가능하고 토양을 파쇄하여 벨트로 협지하여 뽑는 방식으로 제작하여 인발각도별로 시험한 결과 인발각도 40°에서 인발정도가 가장 높게 나타났으며 주행 및 인발벨트의 속도비는 1 : 1.3이 가장 바람직한 것으로 나타났다.
4. 위치유도식 회전원판날형의 적정 설계조건은 벨트협지길이 10cm 이내, 협지잎개수는 4이상, 인발부와 잎 절단부의 각도 40°에서 잎절단상태가 가장 양호한 것으로 나타났다.

5. 참고문헌

1. 농촌진흥청. 1999. 작목별 작업단계별 노동력 투하시간. pp.36.
2. 최용, 박환중, 홍종태, 전현종, 윤무경. 무 수확기 개발. 농업과학논문집. 40(2):130-137.
3. 今園支和, 我妻幸雄, 矢治幸夫, 雁野勝宣. 1979. 根菜類の收穫機構に關する研究. 日本農事試驗場研究報告 29號. pp.95-130.
4. 小堀乃, 古谷正, 大塚實治, 細川寿. ダイコン收穫作業システムの引き抜き機構の構造. 日本農業機械學會誌. 53(5):59-63
5. G. N. Terekhova. Effect of mechsnical harvesting of carrots on their keeping quality. Sci.. Infor. Sect. Nat. Inst. Eng.. 1-3
6. L. F. Johnson. A Vibrating Blade for the Potato Harvester. Transactions of the ASAE Vol. 17. 867-870