

# 무·당근 수확기 개발

## Development of Harvester for Radish and Carrot

최 용*	박환중*	홍종태*	전현중*	윤무경**
정회원	정회원	정회원	정회원	
Y.Choi	W.J.Park	J.T.Hong	H.J.Jun	M.K.Yoon

### 1. 서론

무와 당근은 재배면적이 무 40천ha, 당근 6천ha로 우리 식생활에서 빼놓을 수 없는 중요한 채소이다. 무와 당근의 유통체계를 보면 당근은 수확시 줄기를 자르고 상자에 포장하여 출하하고 있으며, 무는 저장용외에는 거의 잎을 자르지 않고 출하하여 왔으나 근래 소비자의 채소쓰레기 문제가 대두되면서 일부는 산지에서 잎을 자르고 상자 또는 포대로 포장하여 출하하고 있어 앞으로 산지에서 직접 잎을 잘라 출하하는 무가 점차 늘어날 전망으로 수확과 동시에 잎 절단 필요성이 되두되고 있다. 무와 당근의 수확 작업 노력은 전체 노동투하시간의 27 ~ 31%를 차지하고 있으며, 대부분 주산단지화 되어 있어 동시수확에 따른 노동경합 등 일손부족이 심한 실정으로 무, 당근 수확작업의 기계화가 최우선 해결과제이다.

국내외의 무·당근 수확기계화 기술현황을 보면 유럽, 일본등에서는 트랙터용 및 전용기 형태의 근채류 수확기가 연구 개발되어 일부 실용화 되고 있으나 국내에서는 아직까지 연구 실적이 없고 일부지역에서 외국기종을 도입하여 적용한 결과 우리 실정에 맞지 않아 새로운 수확기계 개발이 요구되고 있는 실정이다.

따라서 본 연구는 무,당근 수확작업의 생력기계화를 위하여 ①현재 농가에서 가장 많이 보급된 40~70ps급의 트랙터에 부착 가능하며, ②가족노동력(2~3인)만으로 수확작업이 가능하고, ③트랙터 운전자가 모든 운전 조작을 용이하게 제어할 수 있는 기계 개발에 역점을 두고 뽑기, 잎절단, 수집을 동시에 일관작업할 수 있는 무·당근 수확기를 개발하였다.

### 2. 재료 및 방법

#### 가. 시작기 제작

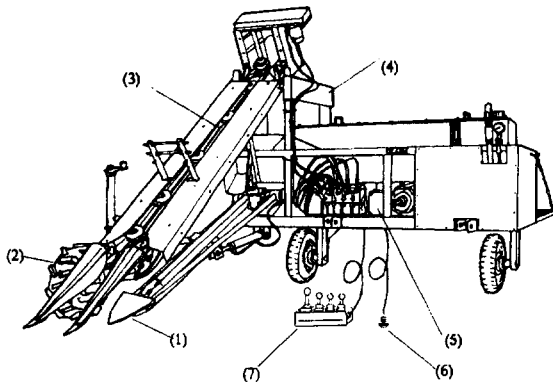
무·당근 수확기는 40ps~70ps의 트랙터 부착용으로 그림 1과 같이 굴취부, 뽑기부, 잎절

---

\* 농촌진흥청 농업기계화연구소

\*\* 농촌진흥청 원예연구소

단부, 수집부, 유압부 등으로 구성하였다. 수확작업은 가이드를 이용하여 작물의 잎을 모아 주고 진동굴취날로 흙을 파쇄하면서 V폴리에 장착된 스타휠과 맞물려 회전하는 V벨트의 협지장력으로 무, 당근을 뽑아 이송하도록 구성하였다. 이송로에 설치한 위치결정 가이드가 이송도중의 작물 위치를 일정하게 유도하고 회전절단날로 원하는 위치에서 잎을 정확하게 절단한 후 벨트로 절단된 잎을 배출하고 뿌리만 상자에 담은 순서로 작업이 이루어진다. 진동굴취날과 유압동력은 트랙터의 PTO 동력을 사용하고, 뽑기벨트와 잎절단부 구동, 굴취 및 뽑기부의 위치제어동력은 자체유압을 이용하였으며, 벨트뽑기각도는 40°, 굴취날 깊이는 최대 40cm까지 조절이 가능하도록 시작기를 설계 제작하였다.



- (1) Digging blade (2) Wheel (3) Pulling belt
- (4) Cutting blade (5) Electric control box
- (6) Electric connector (7) Hydraulic control lever

Fig 1. Schematic diagram of harvester for radish and carrot

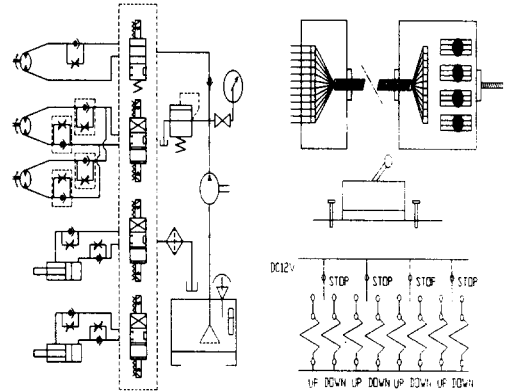


Fig 2. Hydraulic circuit and electric circuit of the harvester

또한 수확기의 운전조작을 용이하게 하기 위하여 유압조절 레버를 자석부착식으로 제작하여 트랙터의 운전석 옆에 착탈이 가능하도록 하였으며, 유압조절레버를 작동하면 유선 원격 제어가 가능할 뿐 아니라 인발부와 굴취부의 위치제어가 동시 또는 개별제어가 가능하도록 설계 제작하였다.

유압은 트랙터의 PTO동력으로 펌프를 구동하고 DC12V용 솔레노이드 밸브로 제어하되 시스템의 각 라인마다 유량제어 밸브를 설치하여 각각의 속도를 제어할 수 있도록 하고 유압오일 탱크는 유압오일의 온도상승을 감안하여 120ℓ로 설계제작하였다.

#### 나. 공시재료

무, 당근 수확기의 성능시험은 원예연구소의 봄무, 가을무, 당근 재배 포장에서 둥근두둑의 외줄재배로 조건 및 주간거리는 봄무의 경우 60×25cm, 가을무 60×20cm, 당근 50×10cm인

포장에서 시험 하였으며, 공시재료의 물성을 조사한 결과는 표 2와 같다.

공시포장의 토양수분함량은 봄무는 12.7 %,d.b, 가을무는 23.2 %,d.b, 당근은 24.1 %,d.b인 사양토 포장이며, 공시작물의 물성에 있어서 뿌리의 길이는 인발력에 큰 영향을 미칠것으로 판단되는 뿌리 끝부분 포함한 수치이고, 엽수는 협지하여 인발·이송이 가능한 10cm이상인 것의 개수이다.

Table 2. Characteristic of the experimental soil and plants

Variety	Experimental soil			Plants			
	Texture	Soil hardness (kg/cm <sup>2</sup> )	Moisture content (%d.b)	Root			Leave Each
				Total length(cm)	Under ground length (cm)	Weight (g)	
Spring radish (Pyerngjideahyerng)	SL	16.3	12.7	29 (23~33)	18 (15~19)	777 (600~1100)	12 (8~15)
Fall radish (Cherngun)	SL	18.3	23.2	23 (19~28)	17 (13~24)	1230 (890~1420)	11 (7~14)
Carrot (Hongyerng)	SL	13.3	24.1	22 (19~25)	22 (19~25)	311 (200~420)	9 (6~11)

#### 다. 시험방법

무와 당근의 적정 앞절단조건을 구명하기 위하여 이송속도별, 협지위치별로 앞절단 정도를 조사하고, 적정 수확작업조건을 구명하기 위하여 주행속도, 인발속도별로 굴취율, 손상률, 앞 절단정도를 조사하였다. 작업성능은 최적 작업조건하에서 작업능률 및 작업정도를 조사 분석하여 인력수확의 대비구와 비교하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 가. 설계요인 구명시험

인발력을 최소로 하여 무에 손상을 주지않는 적정굴취방법을 구명하기 위하여 무의 무게 및 지하부 길이와 인발력과의 관계를 조사한 결과 인발력은 10~20kgf 범위이고, 무의 무게와 인발력과의 관계는 상관계수  $R^2=0.444$ 로 낮게 나타났으나 지하부의 길이와의 관계는 상관계수  $R^2=0.805$ 로 나타나 인발형 수확기 개발에서 인발력은 무의 무게보다는 지하부 길이에 크게 영향을 받는것으로 나타났다.

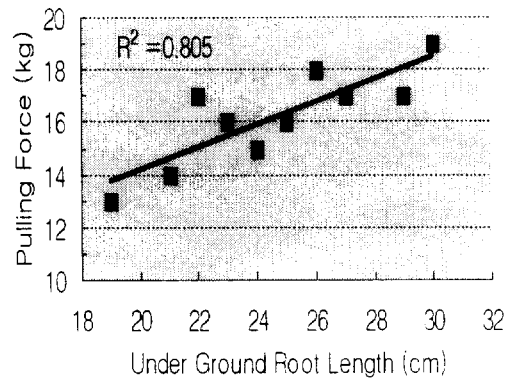
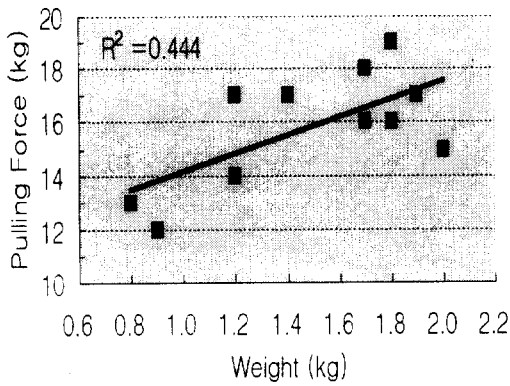
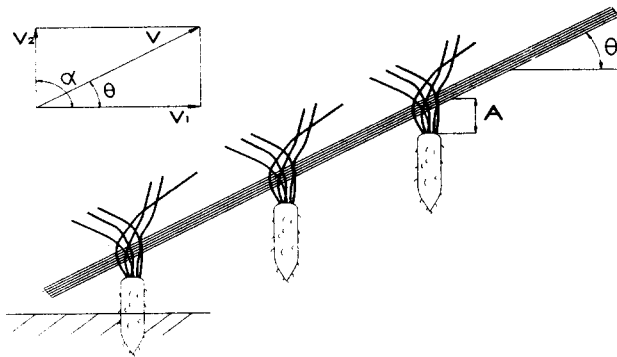


Fig 3. Relationship between weight, under ground root length and pulling force

아울러 주행속도와 인발벨트 속도와의 적정 속도비를 구명하기 위하여 이론 분석과 포장 시험을 실시하였다.



- V : Speed of pulling belt
- V<sub>1</sub> : Vehicle speed
- V<sub>2</sub> : Vertical speed
- θ : Angle of pulling belt
- A : Gripping length

Fig 4. Description of the pulling mechanism

그림 4에서  $V_1 \sin \alpha = V \sin(\alpha - \theta)$  .....(1)

$V_2 \sin \alpha = V \sin \theta$  .....(2) 가 성립된다.

무를 수직으로 뽑는다고 보면  $\alpha = 90^\circ$  가 되고, 이를 (1), (2)에 대입하면

$V_1 = V \cos \theta$  .....(3)

$V_2 = V \sin \theta$  .....(4) 를 얻을 수 있다.

여기서  $\theta$  를  $40^\circ$  로 하면 (3)식에서

$V = V_1 \cos^{-1} 40$  .....(5) 이 성립된다.

식(5)에서 주행속도가 0.2m/sec일때 인발벨트속도는 0.26m/sec가 되고 주행속도가 0.3m/sec 일때 인발벨트속도는 0.39m/sec가 되어 속도비가 1 : 1.3으로 나타났으나 포장시험에서는 인발직전에 무 앞과 벨트 사이에 슬립현상이 발생되어 주행속도와 인발벨트의 속도비는

1 : 1.5 이상에서만 가능하고 그 이하일 경우 인발부에서 정체현상이 발생되어 인발실패 및 손상이 심하여 작업이 곤란하였다.

무의 적정 앞절단 작업조건을 구명하기 위하여 이송속도별로 주행 정지상태에서 시험한 결과 이송속도 0.4m/sec일때 앞절단 r.m.s.(root mean square)값이 0.6으로 가장 양호하게 나타났다. 표 3에서 (+)는 무가 잘린 경우이고 (-)는 남은 잎의 길이를 의미한다.

Table 3. Cutting degree of leaves by feed speed

Feed speed (m/sec)	Leaves cutting degree (%)					*r.m.s.
	-4mmabove	-3~-1mm	0~+1mm	+2~+4mm	+5mmabove	
0.2	0	9	55	27	0	1.41
0.4	0	0	91	9	0	0.60
0.6	0	27	27	27	19	4.38
1.0	0	0	0	11	89	10.9

$$* \text{r.m.s.} = \sqrt{\frac{1}{n} \int_0^n X^2(n) dn}$$

무·당근수확기의 적정 인발높이를 결정하기 위하여 이송속도를 0.4m/sec로 고정하고 벨트가 협지하는 높이(벨트와 무의 상단부까지의 길이, 그림 4에서 A)별로 앞절단 시험한 결과 표 4와 같이 10mm 이하일 경우는 손상 우려가 있고 10~80mm까지는 이송 및 r.m.s. 값이 양호하게 나타나 적정 인발높이는 80mm이내로 하는것이 바람직한 것으로 나타났다.

Table 4. Cutting degree of leaves by the gripping height

Gripping height (mm)	Leaves cutting degree (%)					r.m.s.	Gripping status
	-4mm above	-3~-1mm	0~+1mm	+2~+4mm	+5mm above		
10~30	0	11	89	0	0	0.47	Good
40~80	0	11	89	0	0	0.47	Good
80~150	0	20	30	10	40	5.56	Bad

#### 나. 주행 및 인발속도별 작업정도

무의 적정 작업조건을 구명하기 위하여 주행속도 및 인발속도별로 앞절단정도를 시험한 결과 기체 정지상태에서는 인발속도 0.4m/sec일때 r.m.s.값이 0.6mm로 가장 양호하였으나 포장시험에서는 인발속도가 느릴 경우 인발되는 무의 간격이 좁아져서 절단가이드에 상호 간섭하여 절단성능이 저하되었으며 표 5와 같이 무, 당근 모두 주행속도 0.3m/sec까지 작업이 가능하였고 이때 굴취율 99%이상, 손상을 2%이내, 앞절단 r.m.s.값 1mm내외 등 양호한 수준으로 나타났으며 주행속도와 인발속도비는 1 : 1.5이상에서만 가능하였다.

Table 5. Accuracy of the operation by the vehicle speed and pulling speed

	Vehicle speed (m/sec)	Pulling speed (m/sec)	Degree of digging(%)		Degree of leaves cutting (%)			
			Digging	Damage	-2mm below	-1 ~ +3 mm	+4mm above	r.m.s. (mm)
Radish	0.30	0.5	99	2	0	100	0	0.89
		0.6	100	1	0	100	0	0.86
		0.8	97	3	6	94	0	1.26
Carrot	0.30	0.5	99	2	0	93	7	1.39
		0.6	99	2	0	100	0	1.18
		0.8	100	3	0	93	7	1.51

다. 작업성능

시작기의 작업능률은 표 6에서 보는바와 같이 무 1.75시간/10a, 당근 2.1시간/10a으로 관행 작업의 무 35.5시간/10a, 당근 39.9시간/10a에 비하여 각각 20배, 19배 능률적인것으로 나타났다. 작업정도는 무, 당근 모두 굴취율 99% 이상, 손상률 2% 이내, 앞절단 r.m.s.값이 1mm 내외로서 양호한 수준으로 나타났다.

Table 6. Working performance and accuracy of the operating

Variety	Vehicle speed (m/sec)	Working performance (hr/10a)				Accuracy of the operating			
		Pulling	Leaves cutting	Collection	Total	Digging (%)	Damage (%)	Leaves cutting rms (mm)	
R a d i s h	Prototype	0.3	1.75			1.75	100	1	0.86
	Conventional	-	11	15.7	8.8	35.5	100	0	0.80
C a r r o t	Prototype	0.3	2.1			2.1	99	2	1.18
	Conventional	-	19.9	13.2	6.8	39.9	100	20	4.23

라. 경제성

무·당근 수확기의 경제성은 표 7에서와 같이 시작기가 인력에 비하여 무 45%, 당근 41% 경비절감 효과가 있는 것으로 나타났다.

Table 7. Economic analysis of harvester for radish and carrot

Items		Prototype	Conventional methods (manual)
Working efficiency (hr/10a)	Radish	1.75	35.5
	Carrot	2.1	39.9
Cost requirement (won/10a)	Radish	63,000	114,800
	Carrot	76,000	129,000

#### 4. 요약 및 결론

채소 수확작업의 생력기계화를 위하여 뽑기, 잎 절단, 수집을 동시에 작업할 수 있는 일관 작업형 무·당근수확기를 개발하여 시험한 바, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 시작기는 트랙터 부착용으로 40ps이상의 트랙터에 적용가능하며 굴취방식은 진동굴취하여 벨트로 인발하고, 잎절단 및 수집방식은 벨트 이송중의 무와 당근의 위치를 일정하게 유도하여 잎을 자른 후 뿌리만 상자에 수집되도록 하는 구조로 설계 제작하였다.
2. 무의 적정 잎절단 작업조건을 구명하기 위하여 협지높이별로 요인 시험한 결과, 협지높이가 80mm이내에서만 가능한 것으로 나타났으며, 적정 작업속도는 주행속도 0.3m/sec, 인발속도 0.6m/sec에서 잎절단 r.m.s값이 무 0.86mm, 당근 1.18mm로 가장 양호한 수준을 나타냈다.
3. 포장성능시험 결과, 작업능률은 관행작업에 비하여 무, 당근 각각 20배, 19배 능률적인 것으로 나타났다. 작업정도는 무, 당근 모두 굴취율 99%이상으로 양호하게 나타났다.
4. 시작기의 경제성분석 결과, 관행작업에 비하여 무, 당근 각각 45%, 41% 경비절감 효과가 있는 것으로 나타났다.

#### 5. 참고문헌

1. 최 용 외 6인 : 1994~1996. 무·당근 수확기 개발. 농업기계화연구소
2. 농업기계화연구소 : 1995. 채소 수확후 기계화유형 개발
3. 古谷 正 : 1979~1980. 根菜の引抜力に關する研究 (第1~4報). 日本農業機械學會誌 40~41
4. 小堀 乃, 古谷 正, 大塚寛治, 細川 壽 : 1991. ダイコン收穫作業システムの引抜機構の構造. 日本農業機械學會誌 53(5) : 59-63
5. 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 : 95-130
6. W. LePori and P. Hobgood : 1970. Mechanical harvester for fresh market onions. TRANS ASAE Vol. 13(4) : 517-522