

# 당근수확기 개발(I)

## - 당근의 물성조사 -

### Development of Carrot Harvester(I)

#### - Survey for Physical Properties of Carrot -

최 용*	홍종태*	전현중*	김영근*	김재동**	정종훈***
정회원	정회원	정회원	정회원	정회원	정회원
Y. Choi	J. T. Hong	H. J. Jun	Y. K. Kim	J. D. Kim	J. H. Jung

## 1. 서론

당근은 미나리과에 속하는 직근성 채소로서 비타민A가 다량 함유된 건강식품으로 우리나라에 6,000ha 내외로 재배되고 있다. 재배지역은 우리나라 전체 재배면적 중에서 남제주군 지역이 44.5%, 경남 김해, 양산지역이 16.1%, 강원 평창지역이 11.1%를 점유하고 있으며 총 재배면적의 70% 이상이 주산단지화되어 있어 기계화가 용이한 작목이다. 당근재배에 있어서 10a당 작업단계별 노동투하시간을 보면 전체 100.2시간으로 경운정지, 방제작업만 기계화가 이루어지고 대부분 인력에 의존하고 있는 실정이다. 그중 노력이 많이 드는 작업을 보면 수확, 제초, 파종 순이며 수확작업에 들어가는 노동시간은 26.1시간으로 전체 노동투하시간의 26%를 차지할 뿐만 아니라 힘들고 고된 작업이며 수확작업의 기계화가 절실히 요구되고 있다. 그러나 수확작업에 대한 기계화 요구도가 높은 반면 지역별 재배양식이 다양하고 기계수확시 손상우려가 높으며 동일포장 내에서도 속도차이 등 기계수확의 장애요인이 많아 아직까지 수확작업의 기계화는 진전되지 못하고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 인발식 당근수확기의 개발방향 및 설계에 필요한 각부 제원 설정을 위해서 지역별 재배양식을 조사하여 기계화 표준 재배양식을 설정하고, 당근 및 재배포장의 물리적 성질 등 관련 기초조사를 실시하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 가. 공시재료

#### 1) 공시포장

당근의 물성시험은 강원도 강릉시 사천면 소재 해안농업시험장(구 근채시험장) 포장에서 작형 및 품종은 여름당근(무쌍오촌), 가을당근(고운여름)이고 당근기계화를 위한 조건거리

---

\* 농촌진흥청 농업기계화연구소 생물생산기계과

\*\* 두루기계통상

\*\*\* 전남대학교 농공학과

20cm, 주간거리 8cm의 표준재배양식으로 재배한 포장에서 실시하였다. 공시포장조건은 표 1과 같이 토양수분함량은 무쌍오촌은 23.2% d.b., 고운여름은 23.2% d.b.의 사양토 포장에서 실시하였다.

Table 1 Physical characteristic of the experimental soil

Test field	Soil type	Soil hardness by depths(kg <sub>t</sub> /cm <sup>2</sup> )					Moisture content (% d.b.)
		5cm	10cm	15cm	20cm	25cm	
CCAES test field (Mussangochon)	SL	1.75	6.25	15.3	22.6	26.5	23.2
CCAES test field (Gounyerleum)	SL	2.85	8.62	13.5	19.6	24.9	29.4
NAMRI test field	SL	3.45	7.59	13.4	22.8	34.9	21.1

## 2) 공시당근

수확시기 당근의 품종별로 뿌리길이, 뿌리 직경, 뿌리무게, 잎의 길이, 잎 수, 잎의 무게, 인발력, 잎의 인장파단력(引張破斷力)을 표 2에 나타내었다. 뿌리의 길이는 인발력에 영향을 미치는 것으로 판단되는 세근을 포함한 길이로 수확시기 당근의 크기는 평균 20cm 내외이고 무게는 93~392g으로 편차가 큰 것으로 나타났다. 인발형 수확기에 있어서 중요한 잎의 특성을 보면 당근 잎의 개수는 협지하여 인발·이송이 가능한 10cm이상인 것의 개수이며 3~8개로 사람이 0.3m/s로 당겼을 때 인장파단력의 범위는 107~720N으로 나타났다. 수확시기 토양수분함량 23.2% d.b.인 포장에서 당근의 인발력을 측정한 결과 여름당근의 대표적 품종인 무쌍오촌은 평균 99.0N, 고운여름은 평균 144N으로 나타나 토양을 파쇄하여 인발력을 줄이지 않으면 인발이 불가능한 것으로 판단되었다.

Table 2 Physical characteristic of the carrot by the different varieties

Variety	Root			Leaves			Shearing force (N)	Pulling force (N)	
	Length (cm)	Diameter (cm)	Weight (g)	Length (cm)	Each	Weight (g)			
Mussang-ochon	Ave.	20.9	43.5	152	38.5	6.5	37.1	382	99.0
	Max.	24	56	215	60	8	91	720	159
	Min.	19	33	93	32	4	14	199	75.7
	S.D.	2.0	6.5	35.2	7.7	1.4	19.9	172	22.8
Goun-yerleum	Ave.	20.0	42.6	178	34.3	4.8	14.7	310	144
	Max.	27	53	392	46	7	61	597	20.5
	Min.	13	31	63	24	3	11	107	9.7
	S.D.	4.2	8.0	94.1	7.2	1.3	15.9	156	32.1

## 나. 실험방법

### 1) 재배양식조사

본 연구에서는 당근수확기의 개발방향설정을 위한 객관적인 자료를 얻기 위하여 농가재배 실태는 당근주산지의 현지포장을 직접 방문 조사하였다. 재배양식은 평창지역은 두둑폭 90cm에 조간거리 15~18cm로 4줄재배, 부산, 경남지역은 두둑폭 80~110cm에 조간거리 15~20cm로 4~6줄재배, 제주지역은 두둑을 만들지 않고 산파하거나 조간거리 15~20cm에 8~12줄 재배를 하고있어 당근수확 기계화를 위한 지역간 표준재배양식을 설정할 필요가 대두되었다.

### 2) 당근의 물성분석

당근수확기를 개발하는데 있어서 주요부 재원을 설정하기 위한 기초자료를 얻기 위하여 재배차형별로 수확시기에 당근포장에서 각부치수 및 무게, 인발력 등을 조사하였고, 당근잎의 절단특성을 실내에서 조사하였다. 물성측정용 시료는 여름당근(무상오촌)과 가을당근(고운여름)을 공시품종으로 하였다. 표본의 선출은 수확적기에 동일포장 내에서 30개를 임의 선택하여 측정하였다. 조사항목은 심겨진 상태에서 Digital force gage(AMETEK.CO, 측정범위 10g~50kg)로 인발력과 인장파단력을 측정하고 잎의 길이, 무게, 개수, 당근 뿌리의 무게, 직경, 길이를 측정하였다, 당근 뿌리의 길이는 인발력에 영향을 미칠 것으로 판단되는 세근을 포함하였고, 잎의 개수는 벨트협지가 가능한 5cm이상의 잎만을 포함하였다. 당근의 인발력 측정은 수확시기 생육상태의 순간최대 인발력의 범위를 조사하기 위하여 시험장치의 인발벨트의 종류 및 벨트폭을 감안하여 당근잎에 B형 V벨트 폭과 같은 22mm의 고무를 부착한 클램프로 고정하고 당근잎의 5cm위치에서 협지하고 끈으로 Digital force gage (AMETEK.CO, 측정범위 10g~50kg)에 연결하여 0.3m/s 속도로 측정하였다. 그리고 굴취날의 종류에 따른 토양파쇄효과를 구명하기 위한 인발력과의 관계는 굴취날 종류별로 동일포장내에서 크기가 다른 당근 각 30개를 임의 선택하여 굴취후의 인발력과 미굴취상태에서의 인발력을 비교하였다. 당근 잎의 인장파단력 및 절단력 측정은 농기계화연구소에 구비된 물성시험기(Texture analyser. Model. TA-X2)를 이용하였고 인장파단력은 당근잎에 B형 V벨트 폭과 같은 22mm의 고무를 부착한 클램프를 이용하여 당근의 머리로부터 5cm위치에서 잎을 협지하고 6mm/s, 10mm/s로 이송시켜 인장파단력을 측정하였다. 절단력 측정은 당근 잎 절단부위의 직경과 잎의 개수별로, 부착 절단날은 두께 3mm, 날폭 600mm, 칼날경사각 15°의 날을 사용하였으며, 절단속도를 6mm/s, 10mm/s로 절단시 최대절단력, 절단에너지 등을 조사하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 가. 표준 재배양식 결정

국내의 당근재배는 주산단지화 되어있으며 토성 및 재배양식은 지역별로 다양하다. 우리 나

라에서 가장 많이 재배되고 있는 제주지역의 토성은 화산회토질이고, 부산 경남지역은 사질토, 사양토, 강원 평창지역은 사양토 포장이었다. 또한 재배양식은 제주지역에서는 두둑을 만들지 않고 산파하거나 조간거리 15~20cm에 8~12줄 재배를 하고있으며, 부산, 경남지역은 두둑폭 80~110cm에 조간거리 15~20cm로 4~6줄재배, 강원도 평창지역은 그림 1과 같이 두둑폭 90cm에 조간거리 15~18cm로 4줄재배를 하고있어 파종작업의 기계화와 연계하여 당근재배기계화를 위한 표준재배양식을 20cm, 4줄재배로 결정하였다.

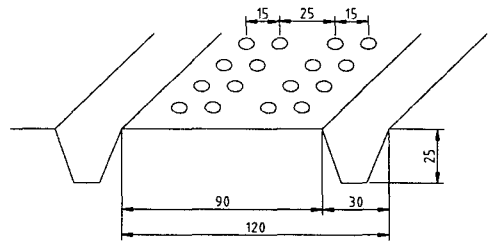


Fig. 1 Cropping pattern of carrot at Pyeung-chang province.

#### 나. 당근의 물성분석

##### 1) 당근의 길이 및 무게와 인발력과의 관계

당근의 인발식 기계수확에 있어서 가장 중요한 부분인 인발력에 영향을 미치는 인자를 구명하기 위하여 뿌리의 무게와 길이와의 상관관계를 조사해본 결과 그림 2, 3에 나타난 바와 같이 인발력과 당근 무게의 상관계수가 0.62, 당근의 길이와는 0.88로 나타나 당근의 무게보다는 당근의 길이에 영향을 더 많이 받는 것으로 나타났다. 이때 당근의 길이는 상품성과는 관련이 없으나 인발력에 영향을 크게 미칠 것으로 판단되는 세근을 포함한 길이 및 무게와 비교하였다. 인발형 당근수확기는 당근의 잎을 헐지하여 인발해야 하므로 당근의 뿌리 주위의 토양을 파쇄하여 인발력을 최소화하는 것이 중요한 것으로 판단된다.

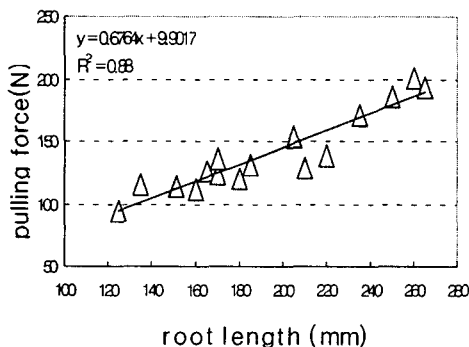


Fig. 2 The relationship between pulling force and root length.

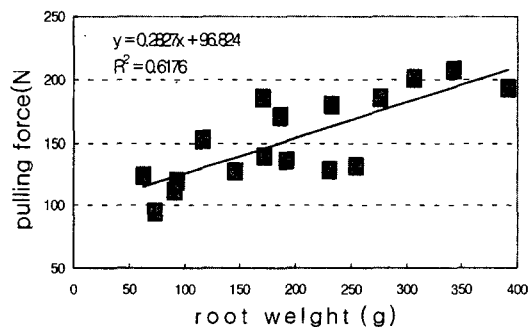


Fig. 3 The relationship between pulling force and root weight.

### 2) 토양 수분함량별 인발력의 변화

당근의 수확 시기에 따라 토양수분함량이 다르므로 토양 수분함량별로 인발력의 변화를 측정한 결과 그림 4와 같이 당근의 길이가 작을 때는 큰 차이가 나타나지 않았으나 당근의 길이가 길어질수록 인발력의 차이가 크게 나타났다. 토양수분함량에 따른 인발력은 토양수분함량이 높을수록 인발력은 작아지고 토양수분함량이 낮을수록 인발력은 커지는 것으로 나타났다.

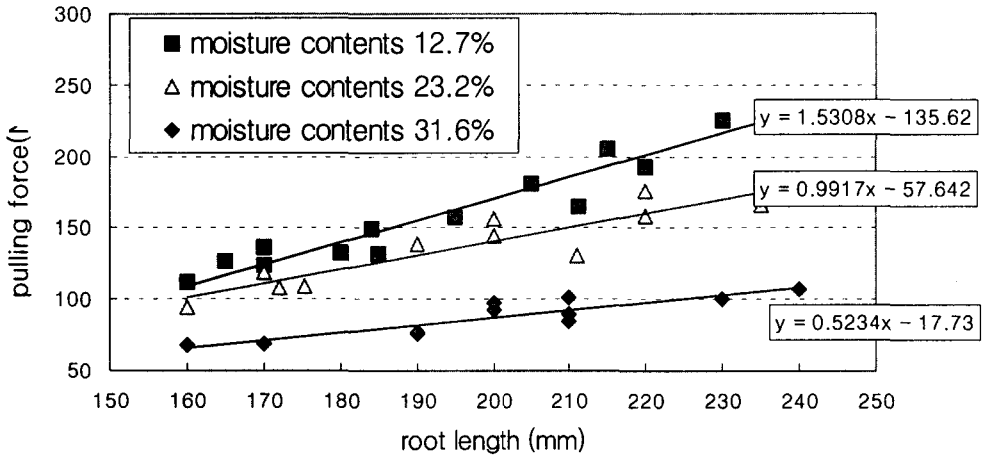


Fig. 4 The variations of pulling force by moisture contents of soil.

### 3) 잎의 인장파단력

인발식 당근수확기는 당근의 잎을 벨트로 협지하여 인발하게 되므로 잎의 인장파단력은 인발력보다 커야만 잎이 끊어지지 않고 토양으로부터 인발 할 수 있다. B형 V벨트에 리나텍스 고무를 접합하여 실제 기계수확에서 협지하는 인발벨트와 동일하게 당근의 잎을 5cm위치에서 협지하도록 하고 당근 뿌리를 고정하여 협지한 잎에서 끊어지는 순간 Texture Analyser을 이용하여 최대 인장파단력과 파단에너지를 측정 한 결과, 표 3에서 보는 바와 같이 6mm/s로 당길 경우 평균 최대 인장파단력은 64.4N, 인장파단에너지는 94.1N · mm, 10mm/s로 당길 경우 평균 최대 인장파단력은 93.6N, 인장파단에너지는 132N · mm으로 당근의 인발속도가 빠를수록 인장파단력은 커지는 것으로 판단되었다.

Table 3 Comparison maximum tensile failure force and energy of carrot leaves caused for pulling speed

Pulling speed		Maximum diameter (mm)	Maximum tensile failure force (N)	Tensile failure energy (N · mm)
6mm/sec	Average	9.44	64.4	94.1
	S.D.	2.15	26.1	57.9
10mm/sec	Average	9.45	93.6	132
	S.D.	2.11	24.6	109

#### 4) 잎의 절단력

당근 잎의 절단력을 농업기계화연구소에 있는 물성시험기(Texture Analyser, TA-X2)를 이용하여 직경별로 최대절단력과 절단에너지를 측정 한 결과 표 4와 같이 6mm/s로 절단 할 경우 평균 최대절단력은 35.6N, 절단에너지는 60.4N·mm, 10mm/s로 절단 할 경우 평균 최대인장과단력은 37.9N, 인장과단에너지는 38.9N·mm으로 나타나 절단속도가 절단에 미치는 영향은 절단력에는 큰 차이가 없으나 절단에너지는 절단속도가 빠를수록 훨씬 줄어드는 것으로 나타났다. 따라서 당근 잎의 절단특성 분석결과를 토대로 소요절단동력을 산출한 결과, 절단속도를 10mm/s로 한 경우 최대절단력은 37.9N이고, 절단두께 10.6mm, 분당 절단횟수는 당근의 주간거리 80mm, 주행속도 0.2m/s로 가정하면 분당 150개를 절단하게 되고, 4줄을 동시에 수확한다고 가정하면 당근의 잎을 절단할 때의 소요동력은 3.94W 정도가 소요되는 것으로 나타났다.

Table 4 Comparison of maximum cutting force and energy for cutting speed

Cutting speed		Maximum diameter (mm)	Maximum cutting force (N)	Cutting energy (N·mm)
6mm/sec	Average	10.6	35.6	60.4
	S.D.	1.87	12.6	21.2
10mm/sec	Average	10.7	37.9	38.9
	S.D.	2.35	12.5	15.6

(Index) Cutting edge : 3m/m thickness , 60mm of blade width, 15° blade angle

한편, 당근 잎의 직경 및 개수와 절단력과의 관계를 그림 5와 6에 나타내었다. 시험결과 당근 잎의 절단력은 잎의 개수보다는 잎의 절단위치의 직경에 영향을 크게 받는 것으로 나타났다.

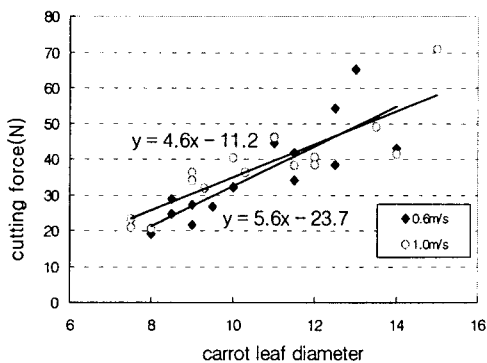


Fig. 5 The relationship between cutting force and carrot leaves diameter.

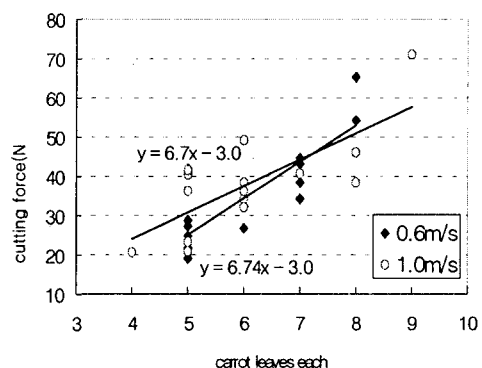


Fig. 6 The relationship between cutting force and carrot leaves each

#### 4. 요약 및 결론

1. 기계화 재배양식은 당근 주산단지의 농가 재배실태를 조사하여 분석 한 결과, 당근재배 기계화를 위한 재배 전공정의 작업연계성, 기계수확 가능성 등을 고려하여 조건거리 20cm의 4줄재배가 바람직 한 것으로 나타났다.
2. 인발력에 영향을 미치는 인자 구멍을 위해 뿌리의 무게와 길이와의 상관관계를 조사해 본 결과 인발력과 당근 무게의 상관계수가 0.62, 당근의 길이와는 0.88로 나타나 당근의 무게보다는 길이에 영향을 더 많이 받는 것으로 나타났으며, 수분함량별에 따른 인발력은 토양수분함량이 높을수록 인발력은 작아지고 토양수분함량이 낮을수록 인발력은 커지는 것으로 나타났다.
3. 당근 앞의 최대 인장파단력과 파단에너지를 측정 한 결과 6mm/s로 당길 경우 평균 최대 인장파단력은 64.4N, 인장파단에너지는 94.1N·mm, 10mm/s일 경우 평균 최대 인장파단력은 93.6N, 인장파단에너지는 132N·mm로 당근의 인발속도가 빠를수록 인장파단력은 커지는 것으로 나타났다.
4. 당근 앞의 절단력을 직경별로 최대절단력과 절단에너지를 측정 한 결과 6mm/s로 절단 할 경우 평균 최대절단력은 35.6N, 절단에너지는 60.4N·mm, 10mm/s로 절단 할 경우 평균 최대 인장파단력은 37.9N, 인장파단에너지는 38.9N·mm으로 나타나 절단속도는절단력에 큰 영향이 없었고 절단에너지는 절단속도가 빠를수록 줄어드는 것으로 나타났다.
5. 소요절단동력을 산출하면 절단속도를 10mm/s로 한 경우 최대절단력은 37.9N이고, 절단두께 10.6mm, 분당 절단횟수는 당근의 주간거리 80mm, 주행속도 0.2m/s로 가정하면 분당 150개를 절단하게 되고, 4줄을 동시에 수확한다고 가정하면 당근의 앞을 절단할 때의 소요동력은 3.94W 정도가 소요되는 것으로 나타났다.

#### 5. 참고문헌

1. 농촌진흥청. 1999. 작목별 작업단계별 노동력 투하시간. pp.36.
2. 최용, 박환중, 홍종대, 전현중, 윤무경. 무 수확기 개발. 농업과학논문집. 40(2):130-137.
3. 古谷正. 1978. 根菜の引抜力に關する研究(第1報)-引抜力測定法-. 日本農業機械學會誌. 40(1):47-52.
4. 古谷正. 1978. 根菜の引抜力に關する研究(第2報)-土壤の引抜抵抗力-日本農業機械學會誌. 40(2):195-200.
5. 古谷正. 1979. 根菜の引抜力に關する研究(第3報)-根菜の引抜抵抗力を支配する要因の解析-. 日本農業機械學會誌. 40(4):527-532.
6. 古谷正. 1979. 根菜の引抜力に關する研究(第4報)-根菜の引抜抵抗力を支配する要因の解析-. 日本農業機械學會誌. 41(1):61-67.
7. 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.
8. L. F. Johnson. A Vibrating Blade for the Potato Harvester. Transactions of the ASAE Vol. 17. 867-870