

# 마늘 수확기 개발을 위한 기초 연구(1)<sup>+</sup>

- 수확기 생육 마늘의 물성 -

## A Fundamental Study for Developing a Garlic Harvester(1)

- Physical Properties of a Live Garlic at the Harvesting Season -

노광모*	박준걸*	정창주**	장영창**
정회원	정회원	정회원	정회원
K. M. Noh	J. G. Park	C. J. Chung	Y. C. Chang

### 1. 서론

우리나라는 마늘의 생산과 소비가 많음에도 불구하고 현재까지 마늘의 생산, 관리에 있어 생력기계화 작업체계는 확립되어 있지 않다. 특히 마늘의 총 생산 비용 중 수확 비용이 차지하는 비중이 매우 높음에도 적절한 마늘 수확기는 개발되지 않아 마늘 생산의 생력화를 위해 마늘 수확기 개발이 시급한 실정이다. 그러나 마늘수확기를 개발함에 앞서, 수확시기에 마늘의 기계적, 형상적 물성을 분석하는 것은 수확기의 주요부를 설계하는데 필수적이며, 나아가 개발된 수확기가 최적의 수확 효율과 경제적인 작업성능을 발휘하는데 매우 중요하다.

마늘 수확기의 개발을 위해 분석, 구명되어야 할 기초적 물성은 수확기의 소모동력, 작업성능, 메커니즘의 간결성과 편리성, 수확효율 및 수확후 처리 등에 관계되는 모든 인자들이 포함되어야 한다. 따라서 본 연구에서는 수확 직전을 기준하여, 생육 상태에 있는 마늘 및 마늘대의 포장 함수율, 인장 및 압축강도, 마늘뿌리의 함수율 및 강도, 마늘의 형상 및 색조특성, 절단 속도 및 인발강도 등을 포함하는 절단강도 등이 구명되었다.

### 2. 재료 및 방법

마늘은 크게 난지형과 한지형으로 분류되며, 각 지역에 걸쳐 다양한 품종이 재배되고 있다. 일반적으로 수확 및 저장성에 있어 한지형이 다소 단단하고 견실한 것으로 알려져 있다. 따라서, 본 연구에서는 한지형 강화도 마늘을 실험시료로서 선택하였다. 실험시료는 대규모 마늘 재배농가를 선택한 후, 수확직전 생육 상태의 마늘 표본을 채취하였다.

생육상태의 마늘에 대한 함수율 측정은 공기오븐법에 기초하였으며, 통마늘, 마늘대 및 마늘뿌리로 나누어 습식 함수율이 분석되었다. 수확기 개발 측면에서 마늘대는 통마늘과의 접촉 부위로부터 20 cm까지로 정의하였다. 마늘뿌리는 접촉된 토양을 제거하여 마늘뿌리의 함수율 측정에 대한 토양의 효과를 제거하였다.

생육상태의 마늘에 대한 인장 및 압축강도는 통마늘에 대한 수직, 수평 방향의 압축강도, 마늘대 및 마늘뿌리에 대한 인장강도 등을 측정함으로써 분석되었으며, 서울대 농생대

+ 본 연구는 농림수산부 특정연구과제 연구비 지원에 의해 수행되었음

\* 건국대학교 농업기계공학과

\*\* 서울대학교 농공학과(농업기계전공)

부속 NICEM에 구비되어 있는 Universal Testing Machine을 이용하여 수행되었다.

수확기 마늘의 절단강도 실험에서는 생육상태에 있는 마늘대 및 마늘뿌리의 절단실험과 그에 따른 마늘의 절단특성 등이 분석되었다. 절단강도 실험은 인장, 압축실험에서 이용된 Universal Testing Machine에 필요한 부착장치를 별도로 제작하여 수행되었다.

절단날은 기본형으로 경사각 90도, 응용형으로 경사각 45도 날이 선택되었다. 절단속도는 0.167mm/sec 정도로 낮게 설정되었는데 이는 속도의 영향이 배제된, 마늘의 순수 절단특성을 구하기 위해서였다. 이 자료를 기초로 수확기의 전진속도 및 절단날의 속도 등을 고려함으로써, 수확기 예취부에 대한 설계인자의 영향을 보다 다양하게 분석할 수 있게 된다. 또한 기존 콤바인의 예취날을 사용하여 절단실험을 수행함으로써, 수확기 예취날의 절단속도, 소모동력 등을 추정하기 위한 기초자료를 얻고자 하였다. 콤바인의 예취날에 대한 실험에서 절단속도는 1.6cm/sec 와 2.5cm/sec, 두 수준으로 설정되었다. 그림 1은 실험에 사용된 3가지 절단날에 대한 형상을 보여주고 있다.

마늘의 형상 및 색조특성에 대한 측정실험은 서울대 농생대 농공학과 농산가공 실험실에 구비된 기계시각 시스템을 이용하여 수행되었다. 사용된 기계시각 시스템은 광도 조절이 가능한 조명장치, 카메라(RGB Camera, TK-1070V, JVC) 및 렌즈(TV Zoom, f2.5, JVC), 화상처리기, 개인용 컴퓨터 등으로 구성되어 있으며 분석에 사용된 프로그램은 전문가용 Image-Pro Plus였다. 형상특성치로서 마늘의 수평 투사면적, 원주 및 면적상당 직경 등이 분석되었으며 통마늘의 무게와 형상특성치의 상관관계 등을 분석함으로써, 수확후 처리기술과 수확기의 개발이 연관성을 갖도록 필요한 물성을 분석하였다. 통마늘을 기준으로 마늘의 색조 분석이 수행되었으며, 본 실험에 사용된 시료의 수는 대형 통마늘 20개, 중형 13개 및 소형 20개였다.

### 3. 결과 및 고찰

표 1은 수확기 생육상태에 있는 마늘의 부위별 함수율과 표준편차를 보여 주고 있다. 마늘의 부위 중에서 마늘대의 함수율이 88%로 가장 높았으며 비교적 적은 크기의 표준편차를 보임으로써, 수확직전 포장내에서 마늘 함수율의 분포는 비교적 고른 것으로 판단되었다. 이 결과를 건조, 보관중인 마늘의 함수율과 비교해 보았을 때, 통마늘의 경우 대략 20%정도 높은 것으로 나타났다. 그러나 마늘대와 마늘뿌리는 생육상태에 비하여 거의 50%에 가까운 차이를 나타내었다.

표 2에는 통마늘의 평균 압축강도와 표준편차를 나타내었다. 표에서 0도는 마늘을 축방향으로 압축한 경우이며, 90도는 수평방향으로 압축한 경우를 나타낸다. 각 측정치는 통마늘의 최대 투사직경을 기준으로 산출되었다. 통마늘 허용 압축강도는 통마늘의 형상이 파괴되는 것을 기준하였는데, 이 경우 통마늘의 상품성은 없어진 것으로 간주할 수 있다. 축방향의 압축력이 수평방향보다 큰 것으로 나타났으며 최대압축력은 축방향에 대해 212 N, 수평방향에 대해 195 N으로 나타났다. 탄성계수의 경우, 축방향이 보다 작은 것으로 나타났는데 이

는 축방향의 압축거리가 수평방향보다 큰 데 기인한 것으로서, 수평방향의 압축은 내부 쪽 마늘의 표피에 직접적인 영향을 주게 되어, 궁극적으로 마늘의 상품성에 매우 치명적인 효과를 주게 될 것으로 판단하였다. 그림 2는 통마늘의 압축력과 수축량의 관계를 보여주고 있다.

표 3에 생육상태에 있는 마늘대의 인장강도를 요약해 놓았다. 실험에 따르면 생육상태에 있는 마늘대의 허용인장 응력은 매우 높은 것으로 나타나, 압축강도의 특성과 연관시켜 볼 때 인발형 수확기의 개발이 통마늘의 품질보존에 유리할 것으로 판단되었다. 또한 인장 실험에 있어서 생육상태에 있는 마늘대는 통마늘 접합부로부터 대략 20-25cm의 부위에서 쉽게 끊어짐이 발생하였다. 이 결과로부터, 인발식 수확기에 있어 예취부는 통마늘 접합부로부터 20cm상부 이내에 위치하는 것이 바람직한 것으로 판단되었다.

마늘뿌리의 인장특성은 인장력에 대해 상당히 큰 변형량을 보이는 것으로서 특징지어 질 수 있었다. 표 4에 생육상태의 마늘뿌리의 인장강도를 나타내었다. 측정치는 마늘뿌리의 면적상당 직경을 기준으로 하여 구하였다. 생육상태의 마늘뿌리의 인장 변형량은 인장강도에 비해 매우 큰 것으로 나타나 인발식 수확기 개발에 있어서 마늘뿌리의 인발전 토양 표면의 전단이나 뿌리 자름 메카니즘이 고려되어야 할 것으로 판단되었다.

수확기 메카니즘에 있어 절단부의 성능은 수확시 마늘의 품질 보존 및 필요한 동력의 추정 등 설계 주요 인자에 대한 기준치로써 필요하게 된다. 표 5은 날의 경사각 90도, 일단 지지의 경우에 생육상태의 마늘대와 마늘뿌리의 절단특성을 보여 주고 있다. 최대 절단력은 마늘대에 대해서 58.5N, 마늘뿌리에 대해서는 31.5N으로 나타났으며, 이 때의 절단에너지는 각각 24.02N·cm 와 11.21N·cm 로 나타났다. 날의 경사각 90도 경우 실제적인 마늘부위의 절단은 관찰되지 않았으며, 따라서 표 5에 보여지고 있는 결과는 생육상태의 마늘대 및 뿌리에 대한 압축특성을 나타내는 것으로 판단되었다.

표 6에 날의 경사각 45도, 일단지지의 경우, 생육상태 마늘대의 절단특성을 나타내었다. 생육상태의 마늘대에 있어서 최대 절단력은 71.44N으로 나타났다. 이는 생육상태에 있는 마늘대를 절단할 경우 상대적으로 많은 에너지가 요구됨을 보여준다. 단위직경당 절단에너지는 생육상태에 있는 마늘의 경우 3.13N·cm/mm 로 나타났다. 그림 3는 생육상태의 마늘대의 변형량과 절단력과 관계를 그래프로 나타낸 것이다.

마늘 수확기의 개발에 필요한 예취날 설계의 기초자료로써, 기존 콤바인 예취날을 이용하여 생육상태에 있는 마늘대의 절단특성을 추정하였다. 표 7은 콤바인 예취날을 사용하여 생육상태의 마늘대의 절단특성을 나타낸 것이다. 표에서 보는 바와 같이 절단속도 2.5cm/sec에서 마늘대의 최대 절단력은 매우 작은 것으로 나타났다. 생육상태에 있는 마늘대의 절단은 조직이 연한 상태에서 이루어지므로 압축 및 절단이 동시에 발생된다. 이와 같은 현상은 그림 4에서 보여주고 있는 절단량과 절단력과 관계곡선에서 절단력이 선형적으로 증가함으로써 잘 나타내 주고 있다. 또한 표 7을 기준으로 보았을 때 속도가 2.5cm/sec인 경우와 1.67cm/sec의 경우에 절단에 소요되는 시간은 거의 같았다. 이는 속도

가 빠를 경우 절단이 발생되기 전에 마늘줄기의 휘는 양은 상대적으로 크다는 것을 의미한다. 그럼에도 불구하고 절단에너지가 속도가 빠를 경우에 보다 적게 소비된다는 것은 절단 초기 날과 마늘줄기의 접촉 시에 충격에 의해 약간의 마늘대 절단이 발생하고, 이에 의해 절단에너지는 감소된다는 것을 나타낸다.

수확기 통마늘의 색조특성은 시료 30개씩 2그룹에 대하여 얻어졌다. 각각의 평균 RGB 값은 (176, 140, 95)와 (186, 156, 114)로 나타났으며 표준편차는 (23, 24, 24)와 (20, 21, 24)로 나타났다. 분석결과에 따르면 생육상태에 있는 통마늘의 색조특성은 토양 고유의 색조특성과 밀접하게 연관되어 독특한 특성을 보여주지 못하였으며, 수확시기의 포장 습기정도, 마늘의 생육상태, 포장의 정리상태 등에 영향을 받아 일관성이 없었다. 따라서, 마늘 수확기 개발에는 형상특성이 보다 유리할 것으로 판단되었다.

그림 5는 통마늘의 형상특성을 구하는데 사용된 기계시각 시스템으로부터 얻어진 통마늘 디지털 영상을 보여주고 있다. 통마늘을 위에서 내려다 본 영상과 아래에서 올려다 본 영상에 대하여 발생할 수 있는 형상특성치의 변화를 보기 위해, 20개의 시료에 대한 형상특성이 각 경우에 대비되었다. 실험의 결과, 통마늘을 보는 각도에 따른 형상의 변화는 거의 없는 것으로 판단되었다. 통마늘의 최대 투사면적과 원주길이에 대하여, 내려다 본 영상과 올려다 본 영상의 차이는 1.2%, 0.1% 정도에 불과하였다.

그림 6은 통마늘의 투사 평면적과 통마늘의 실측무게 및 높이와의 상관관계를 나타낸 것이다. 면적에 대한 무게의 변화는 거의 직선적으로 변화하였으며 결정계수  $R^2$ 는 0.946으로 나타났다. 통마늘의 높이와 무게의 관계에 있어서의 결정계수는 0.832로 약간 떨어졌다. 분석의 결과는 통마늘의 형상특성을 마늘수확기나 수확 후 품질등급기 등에 이용함으로써 보다 고효율의 마늘수확기 개발에 도움이 될 것으로 판단되었다.

#### 4. 요약 및 결론

마늘수확기를 개발하기 위하여 수확기 마늘의 기계적·형상학적 물성 등을 분석하였다. 실험시료는 한지형 강화도 마늘을 사용하였으며 수확기 마늘의 함수율 측정, 인장 및 압축강도의 측정, 마늘의 절단강도의 측정과 형상 및 색조특성이 구명되었다. 본 연구에서 분석된 통마늘의 인장 및 압축 특성은 인발형 마늘수확기에 기초자료로 활용이 가능할 것으로 판단되며 절단 특성은 예취형 마늘수확기의 구조설계에 이용될 수 있다. 또한, 수확기 마늘의 색조특성은 뚜렷이 나타나지 않았으며 형상특성은 마늘수확기나 수확 후 품질등급기 등의 개발에 첨단 기계시각 시스템의 응용에 대한 가능성을 보여주었다.

#### 5. 참고문헌

1. 농림수산부. 1995. 농업기계화 장기전망과 기계화기술 개발전략에 관한 연구
2. 古谷 正. 1979. 根菜의 引拔力에 關한 研究(第 1報). 日本農業機械學會誌 40(1):47-52
3. 古谷 正. 1979. 根菜의 引拔力에 關한 研究(第 2報). 日本農業機械學會誌 40(2):195-200

4. 古谷 正. 1979. 根菜의 引拔力에 關한 研究(第 3報). 日本農業機械學會誌 40(4):527-532
5. LePori, Wayne and Price Hobgood. 1970. Mechanical Harvester for Fresh Market Onions. 1970. Transactions of the ASAE 13(4):517-519, 222

Table 1. The moisture contents (w.b.) of live garlics at the harvesting season.

Portion of live garlic	Stalk	Whole Bulb	Root
Average (std), %	88.0 (2.53)	72.0 (2.31)	55.0 (7.67)

Table 2. The compressive strength of whole bulbs of live garlic.

Compression direction		Area Equiv. Diameter (mm)	Max. compressive force (N)	Compressive distance (mm)	Allowable stress (N/cm <sup>2</sup> )	Bio. Elasticity (N/cm <sup>2</sup> )
Vertical ( 0° )	Ave	48.00	211.82	12.10	11.23	48.69
	Std	6.25	89.42	4.97	3.08	15.99
Horizontal ( 90° )	Ave	51.00	195.00	5.15	9.81	97.09
	Std	6.77	52.27	1.09	2.86	26.10

Table 3. The tensile strength of stalks of live garlic.

Tensile strength	Area Equiv. Diameter (mm)	Max. tensile force (N)	Elongation at max. tensile force (mm)	Allowable stress (N/cm <sup>2</sup> )	Bio. Elasticity (N/cm <sup>2</sup> )
Ave	5.65	26.00	7.19	109.33	1515.34
Std	0.92	7.28	1.99	42.63	363.34

Table 4. The tensile strength of roots of live garlic.

Tensile strength	Area Equiv. Diameter (mm)	Max. tensile force (N)	Elongation at max. tensile force (mm)	Allowable stress (N/cm <sup>2</sup> )	Bio. Elasticity (N/cm <sup>2</sup> )
Ave	15.57	49.02	18.74	26.43	45.73
Std	3.17	16.77	5.99	9.34	17.26

Table 5. The cutting strength of stalks and roots of live garlic at cutting angle of 90° and one-side holding for cutting.

Cutting strength : Portion of live garlic		Area Equiv. Diameter (mm)	Max. cutting force (N)	Knife travel at max. cutting force (mm)	Cutting Energy (N/cm)	Cutting energy at unit equiv. diameter (Ncm/mm)
Stalk	Ave	7.84	58.52	6.01	24.02	3.05
	Std	1.13	15.91	1.24	6.36	0.62
Root	Ave	8.58	31.47	6.89	11.21	1.29
	Std	1.02	3.54	0.60	2.93	0.20

Table 6. The cutting strength of stalks and roots of live garlic at cutting angle of 45° and one-side holding for cutting.

Cutting strength	Area Equiv. Diameter (mm)	Max. cutting force (N)	Knife travel at max. cutting force (mm)	Cutting Energy (N/cm)	Cutting energy at unit equiv. diameter (Ncm/mm)
Ave	8.10	71.44	7.03	25.81	3.13
Std	1.23	21.16	1.41	10.63	1.01

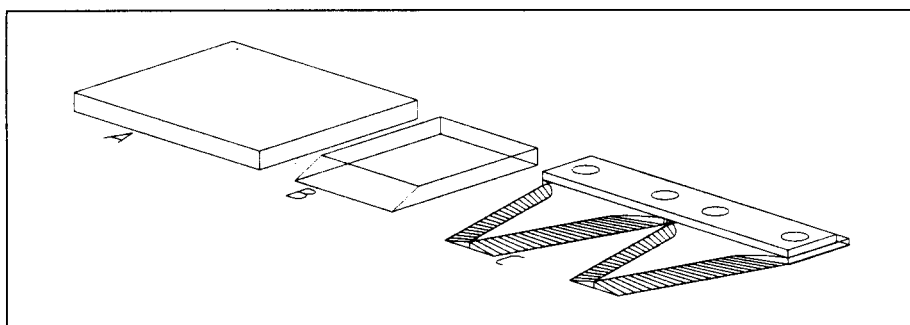
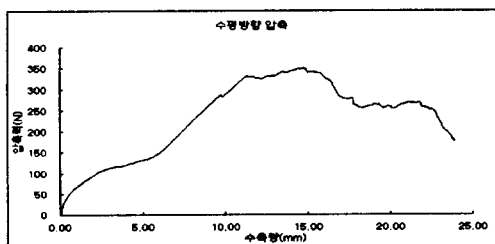


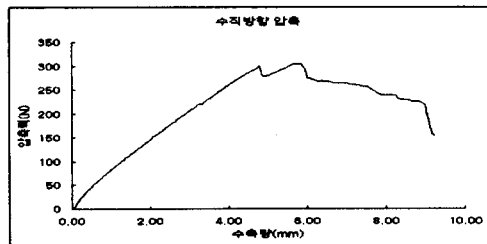
Figure 1. Three types of knives used in cutting experiment.  
(Cutting angle : a. 90° , b. 45° , c. 15° : combine knife)

Table 7. The cutting strength of stalks of live garlic when using a conventional combine knife for cutting at two different knife speeds.

Cutting strength : Different knife speed		Area Equiv. Diameter (mm)	Max. cutting force (N)	Knife travel at max. cutting force (mm)	Cutting Energy (N/cm)	Cutting energy at unit equiv. diameter (Ncm/mm)
Knife speed : 1.67cm/s	Ave	6.18	22.64	3.71	8.18	1.33
	Std	0.66	5.12	1.18	1.96	0.29
Knife speed : 2.5cm/s	Ave	6.54	17.90	5.00	6.46	0.98
	Std	0.66	3.67	0.32	1.62	0.17



(a) Horizontal



(b) Vertical

Figure 2. The relationship between compressive force and distance for whole bulbs of live garlic.

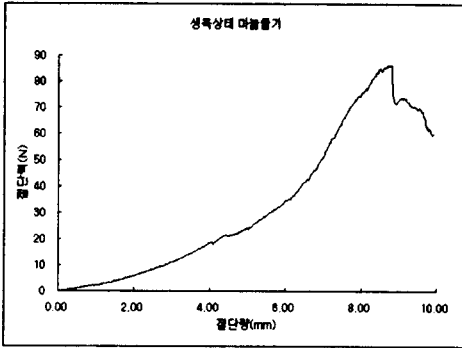


Figure 3. The relationship between cutting force and knife travel for stalks of live garlic at cutting angle of 45° and one-side holding for cutting.

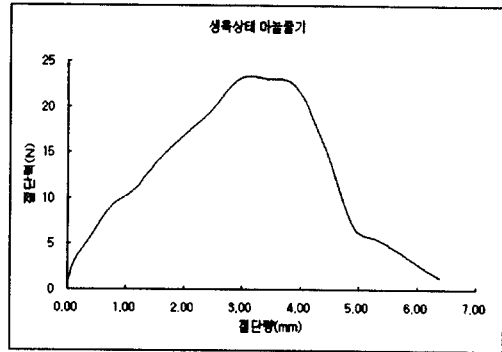


Figure 4. The relationship between cutting force and knife travel for stalks of live garlic when using a conventional combine knife for cutting at knife speed of 2.5cm/s.



Figure 5. A digital image of a whole bulb of live garlic.

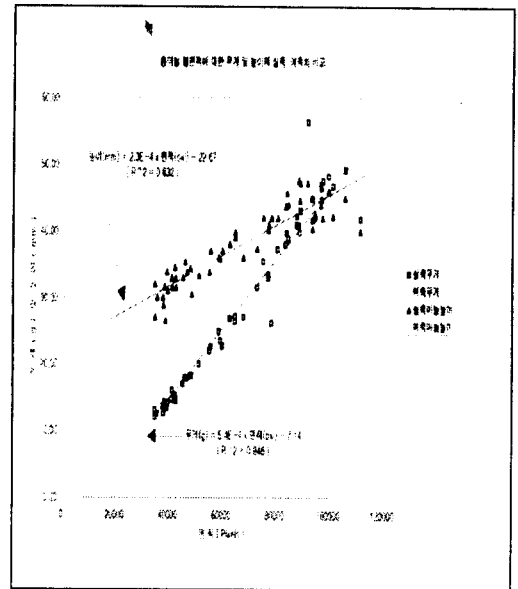


Figure 6. The correlations between projected area of whole bulbs of live garlic and their weight and height.