

마늘 주아 수확기 개발을 위한 마늘쪽의 역학적 특성 분석

서정덕 김건희 권순홍

Mechanical Characteristics of Garlic Scapes for Developing Mechanical Garlic Bulbils Harvester

J. D. So G. H. Kim S. H. Kwon

Abstract

Mechanical characteristics of flower stalks (scapes) of garlic such as shear forces, cutting forces, and modulus of elasticities were investigated as a preliminary research to develop a mechanical harvester of garlic bulbils. The average shear forces of garlic scapes was 0.642 N and the maximum and minimum shear forces were 1.42 and 0.25 N, respectively. The shear forces generally increased as the diameter of garlic scapes increased. There was no correlation between the modulus of elasticity and the diameter of garlic scapes and the average modulus of elasticity of garlic scapes was around 2.40×10^7 N/m². There was also no correlation between the cutting force and the diameter of garlic scapes. As the downward speed of blade increased, the cutting force of garlic scapes decreased and reversed to increase. The cutting forces of the lower part garlic scapes were lower than those of the upper part. The range of cutting forces of the lower and the upper part of garlic scapes were 3.88-4.04 N and 4.29-4.93 N, respectively.

Keywords : Garlic, Garlic scapes, Cutting force, Bulbils

1. 서론

마늘은 우리 농업에서 주요 채소 작물로 2003년 현재 재배 면적 33천ha, 생산액 5,832억원, 재배농가 538천 호에 이르며 농가 소득의 중요한 위치에 있으나, 재배면적 45천ha, 생산액 1조원 대에 이르던 국내 마늘 산업이 값싼 수입 마늘로 인하여 매년 생산 규모가 크게 줄어들고 있다. 국내 마늘 산업이 큰 어려움을 갖고 있어 안정적 마늘생산을 위해서는 경쟁력 확보가 우선적으로 해결되어야 하고 이를 위해서는 생산비를 절감할 수 있는 기술 개발이 요구되고 있다.

국내 마늘 산업의 경쟁력 제고를 위하여 마늘 생산의 일관 기계화를 위하여 마늘쪽분리기, 마늘쪽선별기, 마늘파종기, 마

늘줄기절단기, 통마늘선별기 등을 개발 보급 단계에 있으며, 주아마늘재배의 기계화를 위하여 연구 개발을 하고 있다(농촌진흥청, 2003).

한편, 마늘 산업의 경쟁력을 키우기 위해 우량 씨마늘 생산에 노력을 기울이고 있으며, 현재 씨마늘로 사용하는 보통 마늘의 인편(마늘쪽)은 생산성이 낮고, 마늘 바이러스에 약한 단점이 있다.

대부분 농가에서 사용하고 있는 씨마늘은 자가 채종에 의해 생산되고 있고, 마늘 총생산비 중에서 씨마늘이 차지하고 있는 비중은 약 40%로 종구비의 부담이 높다. 우량 종구를 생산하기 위한 방법으로서 조직 배양에 의해 건전한 식물체를 생산하는 방법과 주아를 이용하여 우량 종구를 생산하는

This study was conducted by the research fund supported by Agricultural R&D Promotion Center (ARPC). The article was submitted for publication in December 2004, reviewed in December 2004, and approved for publication by the editorial board of KSAM in March 2005. The authors are Jung D. So, Research Assistant Professor, Gunhoi Kim, Associate Professor and Director of Technology Innovation Center, Technology Innovation Center, Jeonju University, Jeonju, Rep. of Korea, and Soon Hong Kwon, Professor, Dept. of Mechanical Engineering, Miryang National University, Miryang, Rep. of Korea. The corresponding author is J. D. So, Research Assistant Professor, Technology Innovation Center, Jeonju University, Gimje, Jeonbuk, 576-090, Rep. of Korea; Fax: +82-063-547-1991; E-mail : <jungdso@jj.ac.kr>

방법이 제시되고 있으나, 마늘 주아를 이용하여 우량 종구를 생산하는 것을 농가에 권장하고 있다(하현태 외, 2000).

마늘 주아는 식물체 선단(공중)에 착생되기 때문에 인편보다 각종 병 및 바이러스 감염이 훨씬 낮고, 조직이 치밀하여 저장성이 강하고, 증체율이 높으며(20-70배), 한 개의 총포 당 8-20개의 주아가 들어 있어 증식률이 인편보다 2배 정도 빠르다. 또한 주아재배로 생산되는 종구는 일반 인편에 비하여 10-30% 증식되는 것으로 보고 되고 있다.

따라서, 마늘재배 농가에서는 씨마늘을 생산하기 위한 마늘 주아 재배를 확대해 병 없는 씨마늘을 생산함으로써 종자 구입비를 줄이고, 마늘 주아를 이용한 마늘 파종 시 일반 씨마늘에 비해 생산성을 향상시켜 농가소득 증대 가져오고, 마늘의 가격 경쟁력 및 품질향상에 노력을 기울이고 있다.

그러나, 농가의 마늘 주아 생산에 있어서 가장 중요한 주아 수확을 손으로 채취하고 있어 노동력 투하와 인건비 면에서 생산비 절감의 장애요인으로 지적되고 있다. 마늘 재배 농가에서 주아 수확은 마늘의 수확 전이나 수확 후 호미를 이용하여 전체 마늘을 수확한 후 화경(마늘종)을 길게 잘라 매달아서 후숙 시킨 후 화경의 기부를 잘라 총포 상태로 망사 등에 담아 통풍이 잘되고 서늘한 곳에 보관해 두었다가 씨마늘로 사용하고 있다. 이러한 주아 수확방법은 노동력이 많이 요구되고 작업하기가 매우 힘이 드는 작업으로, 주아를 씨마늘로 사용하기 위해 수확에 소요되는 노동력은 10a당 14시간이며, 이는 주아재배의 전체 노동 투하시간의 14%를 차지하고 있다.

최근 벼의 수확을 위한 콤바인 예취부의 성능 향상을 위해 벧짚이나 보릿짚의 절단력을 연구한 사례가 발표되고 있다(Yore et al., 2002; Hirai et al., 2003). 본 연구에서는 수작업 체계의 주아 채취 방법을 사용하기 편한 기계적 주아 채취방법으로 대체하고자 장치 개발에 필요한 마늘 화경(마늘종)의 역학적 특성에 대해 분석하였다.

2. 재료 및 방법

가. 마늘종의 전단력

마늘종의 전단력 시험은 단순지지보(그림 1)로 가정하여 실시하였으며, 지지대 사이의 간격은 90 mm로 하였으며, 하중은 UTM(Universal Testing Machine)(그림 2)의 초기 이동 지점에서 최저점까지의 약 25.6 mm로 수직 이동하면서 나타나는 최대 하중으로 설정하였다. 지지대 사이의 간격은 시료를 지지대 위에 올려놓았을 때 처짐이 없는 상태의 최대 길이로 선정하였으며, 수직이동 거리는 UTM의 전체 수직이동 거

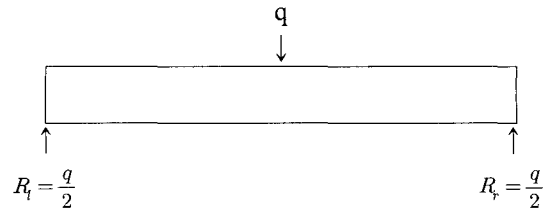


Fig. 1 Diagram of the simply supported beam.

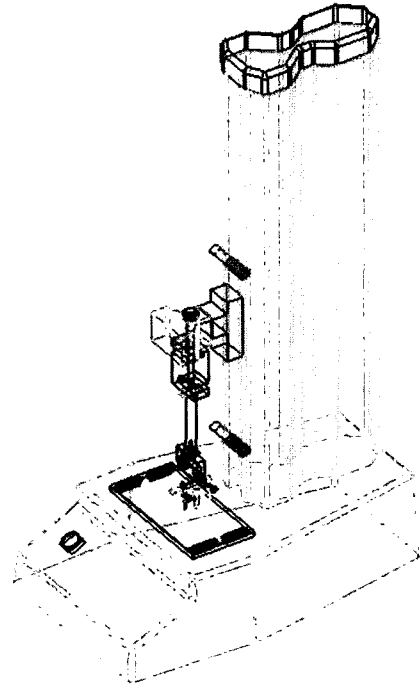


Fig. 2 Universal testing machine.

리와 지그 높이를 고려하여 설정하였다. 전단력은 마늘종의 중앙 지점에서 받는 최대하중에 대하여 식 (1)을 이용하여 계산하였다.

$$F(x) = \frac{q}{2} \tag{1}$$

where q = load

나. 마늘종의 굽힘력

마늘종의 굽힘력 시험은 UTM(그림 3)에 지그를 제작 부착한 후 50개의 시료를 무작위로 추출하여 3번의 반복 실험을 실시하였다. 이 실험에서 UTM의 하강속도는 준정적인 상태를 유지하고자 100 mm/min로 설정하였고, 지지대의 폭은 90 mm로 설정하였으며, 변위 길이는 25.6 mm로 설정하였다(그림 3).

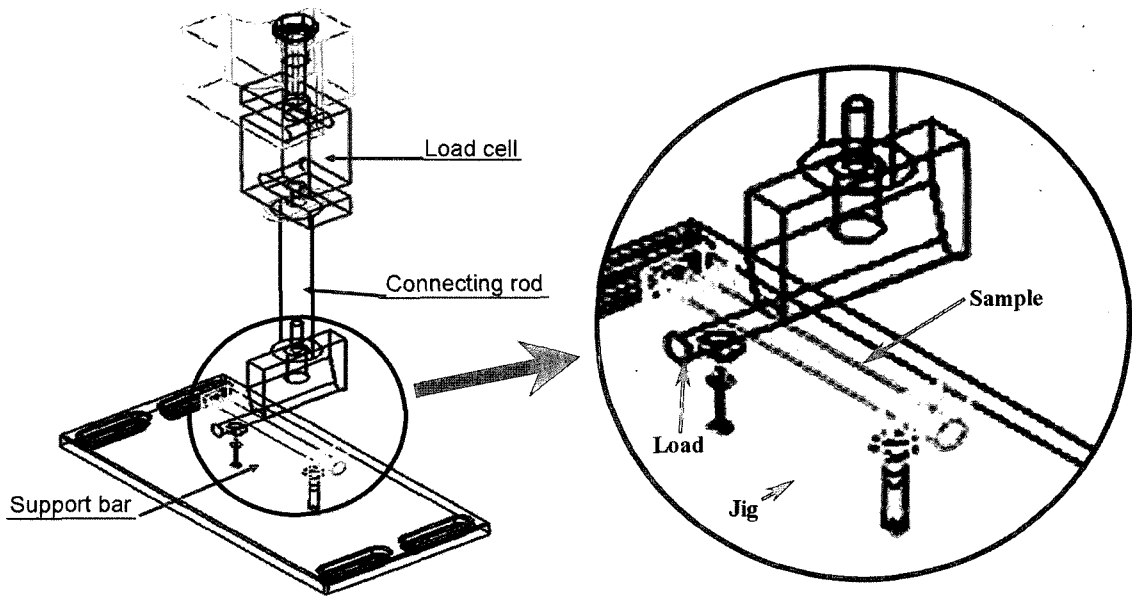


Fig. 3 Testing apparatus of bending stress measurement of garlic scapes.

다. 마늘쫑의 탄성계수

마늘쫑의 탄성계수는 UTM을 사용하여(그림 3 참조) 벤딩 (Bending) 시험을 한 후 식 (2)를 이용하여 계산하였다.

$$E = \frac{PL^3}{48 Y_c I} \quad (2)$$

where

- E = Modulus of elasticity
- P = Applied load at the center
- L = Distance between the supports
- Y_c = Center deflection
- I = Area moment of inertia of the beam cross-section

탄성계수 측정에 사용한 시료는 시장에 나와 있는 마늘쫑을 구입한 후 마늘쫑이 건조되는 것을 방지하기 위하여 밀폐 비닐 팩에 넣어 냉장 보관하면서 1회 당 시료 50개씩을 무작위로 추출하여 사용하였고 3번 반복 실험을 실시하였다. 이 시험에 이어서 UTM의 하강속도는 100 mm/min로 설정하였고, UTM 지지대의 폭은 7 cm로 설정하였다.

라. 마늘쫑의 절단력

마늘쫑의 절단력(Cutting force)을 측정하기 위하여 UTM (그림 4)에 마늘쫑을 고정할 수 있도록 지그를 그림 4와 같이 제작한 후 UTM의 베이스에 고정하고 마늘쫑이 칼날과 수직을 이루도록 하였다. 마늘쫑 절단력 시험에 사용한 칼날은 탄소강

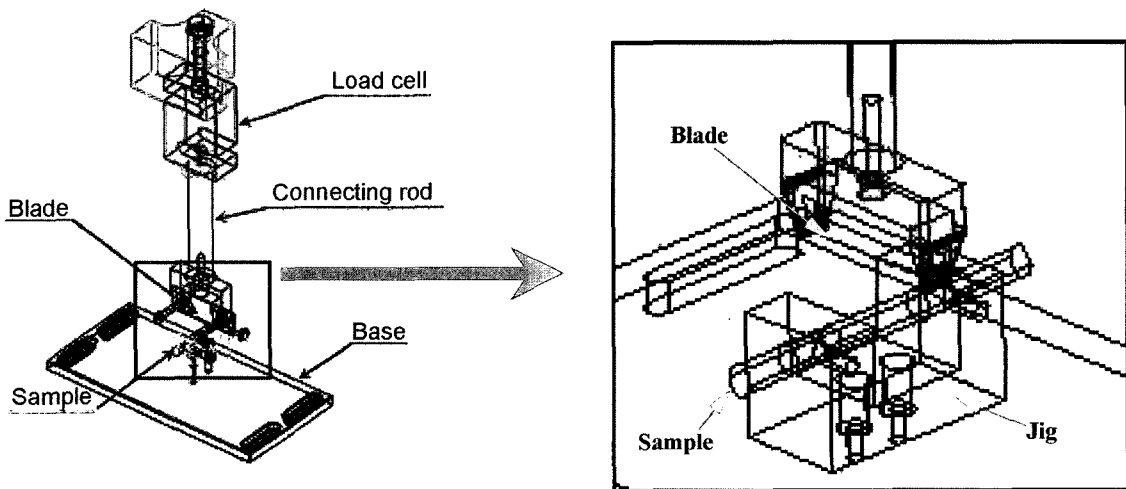


Fig. 4 Assembled jig used for cutting force measurement of garlic scapes.

의 microtome blade로, 칼날의 두께 및 폭은 각각 0.2 mm 및 3 cm로 하였고, 칼날의 하강 속도는 60, 120, 180 mm/min로 하였다. 마늘종의 부위에 따른 절단력의 차이를 파악하고자 마늘종의 상단 및 하단에 대해 절단력을 측정하였고, 시료 50 개씩 3번 반복하여 시험을 실시하였다(Herppich et al., 2002; Yore et al., 2002).

마. 마늘종의 함수율

마늘종의 함수율 측정은 Dry oven(동양 과학, 모델 0560)을 이용하여 105°C에서 72시간 건조한 후 건량 기준 함수율 아래 식 (3)과 같이 측정하였다.

$$mc\% = (G_{wt} - OD_{wt}) \times 100 \div G_{wt} \tag{3}$$

where

G_{wt} = Green weight of garlic scapes

OD_{wt} = Oven dry weight of garlic scapes

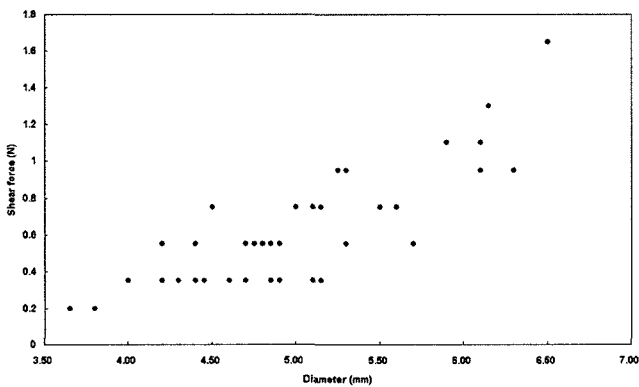


Fig. 5 Shear force of garlic scapes with respect to diameter.

3. 결과 및 고찰

가. 마늘종의 전단력

그림 5는 마늘종의 직경과 전단력간의 관계의 한 예를 나타내고 있으며, 마늘종의 전단력은 대체적으로 마늘종의 굵기가 증가함에 따라 증가하는 경향을 나타냈다.

표 1은 마늘종의 전단력 측정 결과를 나타낸 것으로 평균 전단력의 범위는 0.574 - 0.762 N으로 나타났고, 최소 및 최대 평균 전단력은 각각 0.200 - 0.350 N 및 1.300 - 1.650 N으로 나타났으며, 3번 반복실험결과 마늘종의 평균 전단력의 차이는 거의 없는 것으로 나타났다.

나. 마늘종의 굽힘력

그림 6은 마늘종의 굽기와 굽힘력과의 관계를 나타낸 것으로, 마늘종의 굽기가 증가하면서 대체적으로 굽힘력도 증가하는 경향을 나타냈다. 한편, 굽힘력이 증가하는 경향이

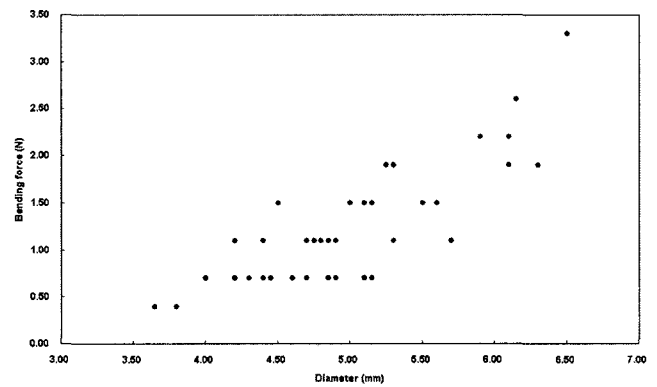


Fig. 6 Bending force of garlic scapes with respect to diameter.

Table 1 Shear force of garlic scapes with respect to diameter.

Replication	Diameter (mm)				Shear force (N)			
	Mean	Min	Max	C.V.	Mean	Min	Max	C.V.
1 st	5.294	4.150	6.700	11.7	0.762	0.350	1.300	34.2
2 nd	4.822	3.550	6.750	15.0	0.574	0.200	1.300	49.4
3 rd	4.933	3.650	6.500	13.1	0.591	0.200	1.650	49.0
Mean	0.000	0.00	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00

Table 2 Bending force of garlic scapes.

Replication	Diameter (mm)				Bending force (N)			
	Mean	Min	Max	C.V.	Mean	Min	Max	C.V.
1 st	5.294	4.150	6.700	11.7	1.524	0.700	2.600	34.2
2 nd	4.822	3.550	6.750	15.0	1.148	0.400	2.600	49.4
3 rd	4.933	3.650	6.500	13.1	1.182	0.400	3.300	49.9
Mean	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00

선형적으로 증가하는 것이 아니라 약간 산재해 있는 것으로 나타났다. 그림 6에서 마늘쫑의 굵기가 변화함에도 불구하고 굽힘력이 같은 값으로 즉, 그림 6의 횡축과 평행하게 전개되는 것은 본 실험에 사용한 UTM 계측기의 특성상 소수점 이하 3자리 이상의 절단오차에 의해 그림 6과 같은 결과가 나온 것이다.

마늘쫑의 평균 굽힘력 범위는 1.148 - 1.524 N으로 조사되었고(표 2), 3번 반복 실험 결과 굽힘력의 차이가 없는 것으로 나타났다. 한편, 최소 및 최대 평균 굽힘력은 각각 0.4 N 및 3.3 N으로 나타났다. 한편, 시료의 평균 굵기 범위는 4.822 - 5.294 mm로 나타났고, 최소 및 최대 마늘쫑의 평균 굵기는 3.550 - 6.750 mm로 나타났다.

다. 마늘쫑의 탄성계수

마늘쫑의 굵기에 따른 마늘쫑의 탄성계수의 1, 2, 및 3차 실험 결과를 각각 그림 7, 8, 및 9에 나타냈다. 마늘쫑 굵기에 따른 마늘쫑의 탄성계수의 분포는 전반적으로 산재해 있으며 뚜렷한 경향을 나타내지 않았다. 한편, 마늘쫑의 평균 탄성계

수는 약 $2.40 \times 10^7 \text{ N/m}^2$ 이었고, 그의 범위는 약 $1.2 \times 10^7 - 4.84 \times 10^7 \text{ N/m}^2$ 로 나타났다.

라. 마늘쫑의 절단력

그림 10과 11은 각각 마늘쫑의 상단 및 하단의 절단력을 나타낸 것으로, 3차례 시험 모두 비슷한 경향을 나타냈으며,

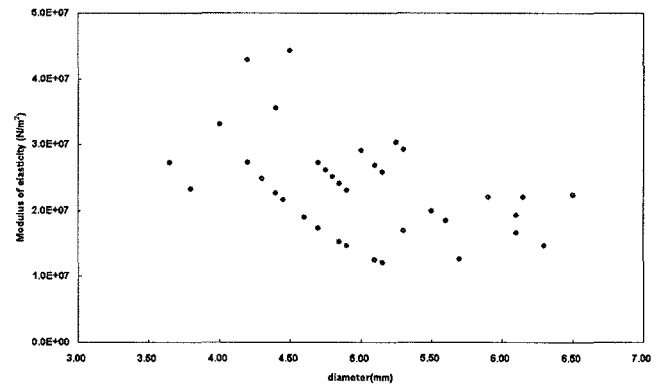


Fig. 9 Modulus of elasticity of garlic scapes with respect to the diameter of garlic scapes (3rd trial).

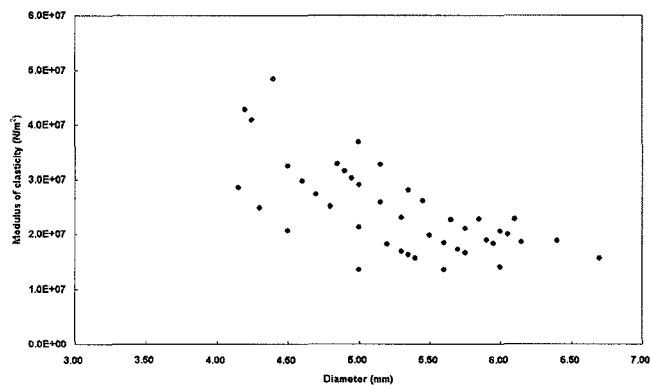


Fig. 7 Modulus of elasticity of garlic scapes with respect to the diameter of garlic scapes (1st trial).

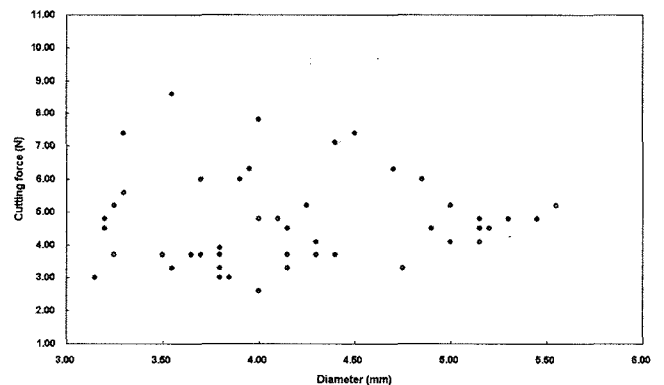


Fig. 10 Cutting force of the upper part of garlic scapes respect to the diameter.

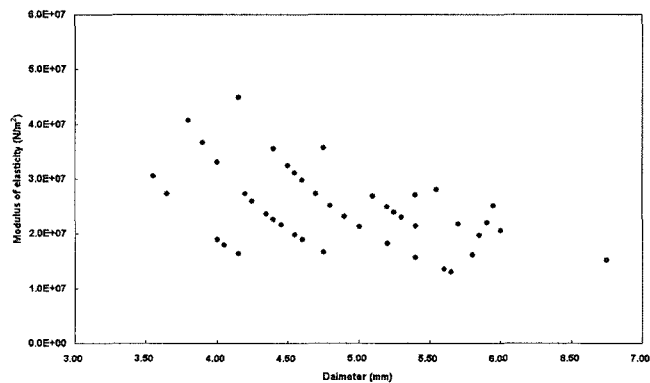


Fig. 8 Modulus of elasticity of garlic scapes with respect to the diameter of garlic scapes (2nd trial).

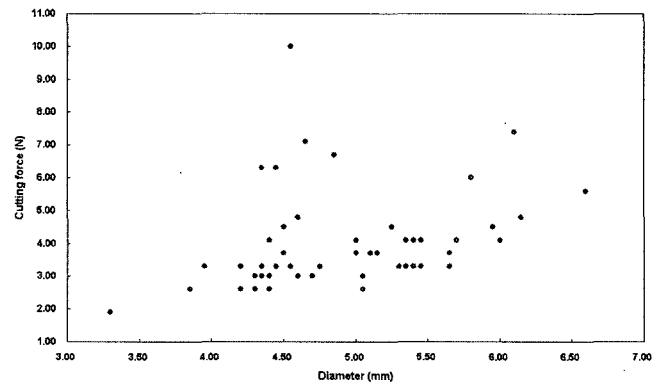


Fig. 11 Cutting force of the lower part of garlic scapes respect to the diameter.

Table 3 Cutting force of garlic scapes.

Downward speed of blade (mm/min)	Upper part						Lower part					
	Diameter (mm)			Cutting force (N)			Diameter (mm)			Cutting force (N)		
	Avg	Min	Max	Avg	Min	Max	Avg	Min	Max	Avg	Min	Max
60	4.20	3.15	5.55	4.93	3.30	6.60	4.93	3.30	6.60	4.04	1.90	10.00
120	4.25	3.25	5.30	4.29	2.60	8.90	4.84	4.00	5.75	3.88	2.60	5.60
180	4.06	3.20	5.30	4.89	3.00	7.10	4.84	3.80	6.55	4.01	2.60	6.70

마늘쫑의 상단 및 하단과 절단력과의 상관관계의 분석결과 각각 0.07($\alpha=5\%$) 및 0.29($\alpha=5\%$)로 나타났고, 그림 10과 11에서 보는바와 같이 마늘쫑의 굵기에 따른 절단력의 분포가 산재해 있어 마늘쫑의 굵기와 절단력과는 상관관계가 없는 것으로 판단된다.

표 3은 칼날의 하강 속도의 변화에 따른 절단력을 나타낸 것으로, 하강 속도가 60 mm/min에 대해 120 mm/min일 때 절단력이 감소하다 180 mm/min일 때 반전하는 경향이 나타났다.

한편, 본 시험에 사용한 시료는 마늘쫑이 갈변하기 훨씬 이전의 상태로써 마늘쫑이 갈변하기 시작하는 5월 하순부터 6월 상순경에 시료를 채취하여 시험을 실시할 경우 절단력은 증가되리라 판단된다. 한편, 본 시험에 사용한 시료의 하단이 상단보다 약간 굵은 반면 절단력이 작게 나타난 것은 마늘쫑의 하단 조직이 상단 조직보다 연한 것으로 판단된다.

주아를 채취할 때 마늘쫑을 될 수 있는 대로 길게 잘라 건조시키는 관행의 수확 방법을 고려할 때 마늘쫑을 기계로 수확을 할 경우에도 절단력이 작게 나타나는 마늘쫑의 하단을 절단하여 수확하는 것이 칼날의 마모나 동력 소모 등을 고려할 때 바람직한 것으로 판단된다. 마늘쫑의 함수율은 84.8%로 조사되었다.

4. 결론

마늘 주아의 기계적 수확장치 개발을 위한 기초 연구로 마늘쫑의 역학적 특성 즉, 전단력 및 절단력을 조사하였고, 마늘쫑의 탄성계수를 분석하였다. 마늘쫑의 절단력 및 탄성계수는 추후 마늘쫑 수확기의 절단부 및 이송부 설계 시 중요한 자료로 사용되리라 판단된다. 본 연구의 결과에 대한 결론을 요약하면 아래와 같다.

- (1) 마늘쫑이 평균 전단력은 0.642 N으로 나타났고, 최대 및 최소 전단력은 각각 0.25 및 1.42 N으로 조사되었다. 한편, 마늘쫑의 전단력은 마늘쫑의 굵기가 증가함에 따라 전반적으로 증가하는 경향을 나타냈다.
- (2) 마늘쫑의 탄성계수와 마늘쫑의 굵기 사이에는 상관관계가 없는 것으로 나타났고, 마늘쫑의 평균 탄성계수는 약 2.40×10^7 N/m²으로 조사되었다.
- (3) 마늘쫑의 절단력과 마늘쫑의 굵기사이의 상관관계 역시 없는 것으로 조사되었고, 칼날이 하강 속도가 증가함에 따라 절단력이 감소하다 반전되어 증가하는 경향을 나타냈다. 마늘쫑의 하단부의 절단력이 상단부의 절단력보다 작게 나타났으며, 하단부의 절단력은 3.88-4.04 N, 상단부의 절단력은 4.29-4.93 N으로 조사되었다.

참고문헌

1. National Institute of Agricultural Engineering, Rural Development Administration. 2003. Consistent mechanization in garlic production (In Korean).
2. Ha, H. T., J. M. Hwang and Y. M. Park. 2000. Comparison of growth and developmental characteristics of northern type local garlic cultivars in Euseong region. Kor. J. Hort. Sci. & Technol. 18(4): 499-502 (In Korean).
3. Herppich, W. B., G. G. Galindo, I. Sjöholm and B. Herold. 2002. Interactive effects of temperature and water status on processing of fresh cut carrots and radish. ASAE Paper No. 026025. St. Joseph, Mich.: ASAE.
4. Hirai, Y., E. Inoue and K. Mori. 2003. Reaction force of wheat stalks during the reel operation of a combine harvester. Electronic Proceedings of the International Conference on Crop Harvesting and Processing. Louisville, Kentucky, USA.
5. Yore, M. W., B. M. Jenkins and M. D. Summers. 2002. Cutting properties of rice straw. ASAE Paper No. 026154. St. Joseph, Mich.: ASAE.