

롤러식 양파 줄기절단장치 기초연구

A fundamental Study on Roller Onion Topper

김동화*	유수남*	김영태*	최 용**
정회원	정회원	정회원	정회원
D. H. Kim	S. N. Yoo	Y. T. Kim	Y. Choi

1.서론

우리나라의 양파재배의 총 노동투하시간은 206.6시간/10a으로, 이 중 수확작업에 81.2시간/10a이 소요되어 전체의 40%를 차지하는 것으로 조사되고 있다. 또한 수확작업은 전적으로 인력에 의존하고 있으며, 노동강도가 매우 높은 작업이고, 타 작물과 노동력 경합이 이루어지는 시기에 작업을 수행함으로써 농촌 노동력 부족을 가속화하고 있는 형편이다. 수확작업 중 줄기절단에는 20.7시간/10a의 노동력이 소요되어 줄기절단의 생력화가 절실히 필요하며, 줄기절단이 상품성에 크게 영향을 미치므로 있어 손상을 최소화 할 수 있는 줄기절단 기술 개발이 요구되고 있다.

국외의 양파 줄기절단장치에 대한 연구는 지금까지 3 가지 형식이 주로 연구되었는데 첫째는 롤러식 줄기절단장치로 서로 반대방향으로 회전하는 압착롤러에 의해 줄기를 절단하거나 롤러에 의해 줄기를 유도 로타리 절단날로 절단하는 방식으로 주로 일본에서 양파수확기에 채용되어 스냅롤러 타입, 디스크 커터타입으로 상용화되었다. 둘째는 벨트식 줄기절단장치로 굴취된 양파의 줄기를 벨트 이송장치로 잡고 가이드 벨트나 줄기절단길이 조절바퀴로 유도하여 로타리 절단날로 절단하는 방식(Lorenzen 1950, Lepori 등 1970, Wingate-Hill 1977, Maw 등 1988)이다. 셋째는 송풍식 줄기절단장치로 이송 중의 양파를 송풍기의 바람에 의하여 줄기를 세워 절단날로 절단하는 방식으로 호주 등에서 TOP-AIR방식이란 이름으로 상용화되어 있다. 국내의 경우 자주식 감자수확기를 개량한 양파수확기가 업체에서 개발하였으나 줄기절단기능이 없어 인력에 의존하여 줄기절단 후 수집하는 실정이다.

따라서 본 연구는 인력으로 양파를 뽑아서 약 1주일 간 노지건조 한 양파를 수집, 줄기를 절단하는 기존 우리나라 양파 수확체계에 적합한 자주식 양파수집기에 채용할 수 있는 효율적인 양파 줄기절단장치 개발의 기초를 마련하고자 수행하였으며, 이를 위하여 왕복동 절단날을 부착한 롤러식 양파 줄기절단장치 실험장치를 설계 제작하여 그 성능을 분석하였다.

2.재료 및 방법

가. 양파 줄기 절단장치 설계 제작

1) 주요 구조 및 작동원리

롤러식 양파 줄기 절단장치 실험장치의 구조와 외관은 그림1, 그림2와 같다.

+ 본 연구는 농림부 농림기술개발사업의 지원에 의해 이루어진 것임.

* 전남대학교 생물산업공학과 ** 농업공학연구소

줄기 절단 과정은 그림1과 같이 양파 투입구를 통해 투입된 양파가 서로 반대방향으로 회전하는 2개가 1조로 된 롤러에 의해 이송되면서 롤러 사이로 줄기가 말려 들어가 인장 절단 되도록 하였으며, 이송 중 줄기가 인장 절단되지 않은 양파는 절단장치의 절단 커터에 의해 추가적으로 줄기를 절단하도록 한 후 배출구로 양파를 수집할 수 있도록 설계하였다.

양파 줄기절단장치의 주요 구조는 양파 투입구, 이송 및 인장절단 롤러, 절단장치, 절단 줄기 배출용 송풍장치, 배출구, 롤러 및 절단장치 구동 모터와 동력 전달장치, 콘트롤 박스, 프레임 및 지지부로 구성되었고 전체 크기는 길이 3025mm, 높이 1450mm, 폭 1574mm이다.

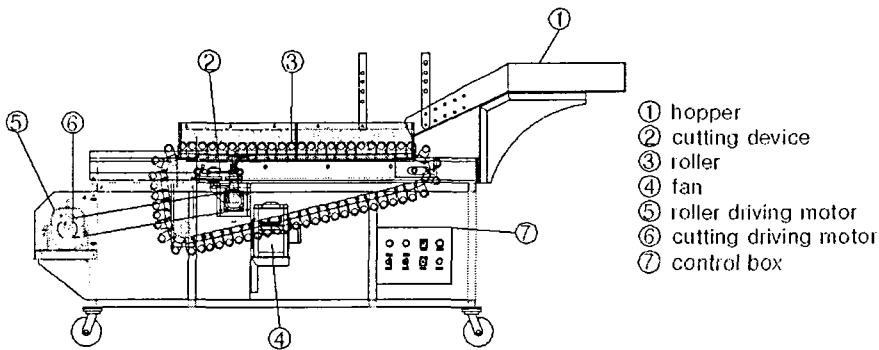


Fig. 1 Schematic diagram of the experimental roller onion topper

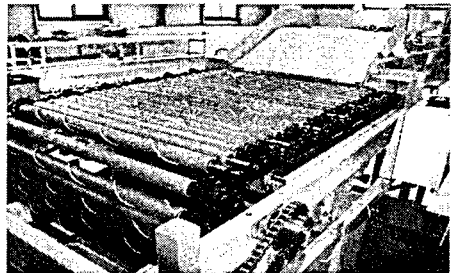


Fig. 2 View of the the experimental roller onion topper

2) 주요부 제원

그림3은 이송 및 인장절단 롤러의 구조를 나타낸 것이다. 롤러는 피치 50.8mm 더블피치 어터치먼트 체인에 부착되어 구동되는데 전체 이송길이 1200mm, 이송 폭 900mm로 제작하였다. 이송 중 양파줄기를 아래 방향으로 잡아내려 인장절단하기 위해 2개의 롤러를 쌍으로 하여 모두울 2, 피치 직경 50mm의 기어로써 맞물려 서로 반대 방향으로 회전시켰는데 이를 위해 롤러 양측 끝단에 모두울 2, 피치 직경 50mm의 피니언 기어를 1 개 롤러에 설치 1200mm 길이의 고정 레크와 맞물려 운동하도록 하였다. 롤러는 내경 42mm 직경의 환봉에 양파 줄기와 마찰력을 크게 하기 위해 실리콘 재질의 두께 3mm 호스를 씌운 구조로 롤러 사이의 간격은 약 3.5mm로 제작하였다. 따라서 양파줄기 유도 및 절단을 위한 롤러의 자전 원주속도는 양파 이송속도 보다 약간 작게 설계하였다.

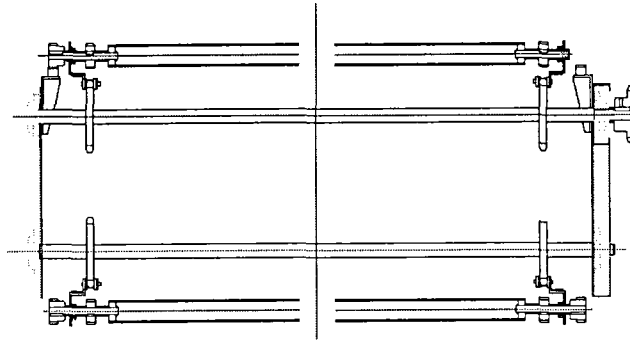


Fig. 3 Schematic diagram of the roller

그림4은 절단장치를 나타낸 것으로 국내 자탈형 콤바인에서 사용되는 D회사의 왕복동 절단 커터를 사용하였고, 높이 47mm, 폭 48.6mm 절단날 17개를 연결하여 전체 폭은 845mm 이며, 롤러 앞부분으로부터 810mm 뒤, 롤러와 간격 50mm로 아래에 설치하였다.

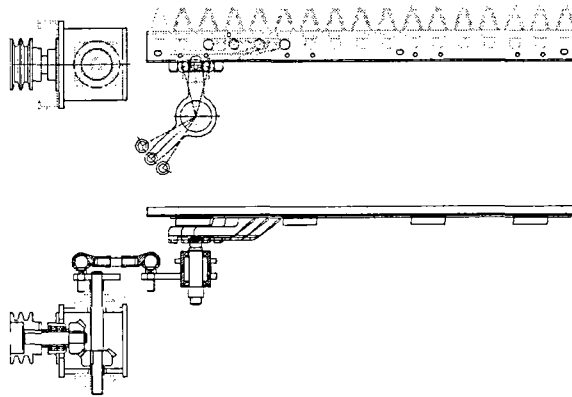


Fig. 4 Schematic diagram of the cutting device

절단커터에서 절단된 줄기를 배출하기 위한 송풍기는 K회사의 원심식 송풍기를 사용하였고, 배출구의 단면적은 150*60mm로 풍속은 약 25m/s였고, 절단 커터의 250mm 수직 아래에 설치하여 압축롤러와 절단 커터에서 잘려진 줄기를 밖으로 배출하도록 설계하였다.

절단 커터의 구동은 S사의 1/2HP, 감속비 1/10, 축 직경 28mm의 변속모터를 사용하였으며, 이송 및 인장절단 롤러의 구동은 1HP, 감속비 1/20, 축직경 32mm인 변속모터를 사용하였다. 이 밖에 콘트롤 박스에는 롤러 모터 구동 S/W, 롤러 속도조절 S/W, 절단 커터 모터 구동 S/W, 절단 커터 속도조절 S/W, 비상정지 S/W를 설치하였다.

나. 성능 시험

1) 실험 재료

본 연구에서 설계 제작한 양파 줄기절단장치의 실험은 전남 무안에서 재배되고 있는 조생종 양파 품종인 천주중고를 8일 동안 자연 건조시켜 실험을 실시하였고, 양파의 평균 무게와 최대 직경은 각각 198.4g(표준편차 ±58.43g), 7.8cm(표준편차 ±1.1cm)이고, 줄기의 직경

은 0.3~2.2cm로 평균 줄기 직경은 1.2cm(표준편차 ± 0.3)였으며, 줄기의 평균 함수율은 14.8%였다.

2) 실험내용 및 방법

양파 줄기절단장치의 실험은 롤러의 형태를 그림 5에서와 같이 무처리(원) 제작 롤러와 양파 줄기 유도 및 인장절단 성능을 높이기 위해 2mm 철사, 3mm 우레탄 튜브(내경 2.4mm, 외경 3mm), 3mm 동선을 한쪽 롤러에 피치 약 15cm의 나선으로 감아 처리한 4가지 형태의 롤러를 대상으로 롤러 양파 이송 속도 0.34 m/s, 0.54 m/s 2수준에 따른 줄기 절단율과 줄기 절단장소, 롤러의 눌림에 의한 양파 손상율, 줄기절단 양파의 평균 줄기길이 및 줄기길이별 분포를 조사하였다.

실험은 롤러의 형태별, 이송속도별로 40개의 양파를 무작위로 공급하여 3반복 실험을 하였으며, 절단날의 평균 절단 속도는 약 0.63m/s로 고정하여 실험하였다. 줄기 절단율과 양파 손상율은 공급 양파의 개수에 대한 롤러나 절단 날에 의해 줄기가 절단된 양파의 개수와 롤러에 의해 눌러 손상된 양파의 개수 비율로 조사하였다.

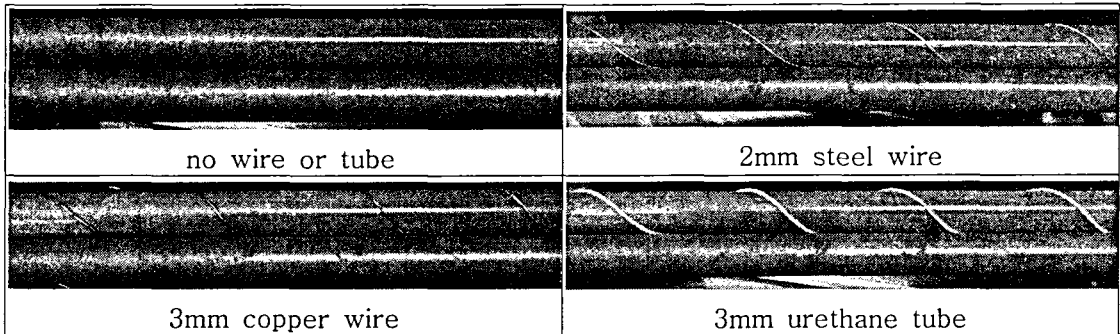


Fig 5. 4 type rollers used for conveying and topping

3. 결과 및 고찰

가. 양파 절단율 및 절단장소

그림 6은 절단된 양파의 모습을 나타낸 것이며, 표 1은 양파 줄기절단장치의 평균 줄기 절단율과 절단장소에 따른 줄기 절단율을 나타낸 것이다.

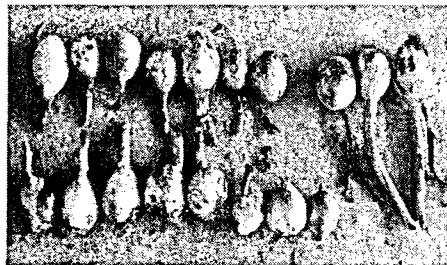


Fig. 6 View of the onions topped

Table 1. Percentages of onions topped by topping place, and onions uncut and not pulled

Roller type	Conveying speed (m/s)	Onions topped (%)		Onions topped by topping place(%)				Onions not topped(%)			
		Ave.	S.D.	Roller		Cutter		Uncut		Not pulled	
				Ave.	S.D.	Ave.	S.D.	Ave.	S.D.	Ave.	S.D.
no wire or tube	0.54	46.3	±3.2	2.5	±2.0	43.8	±2.5	37.5	±4.6	16.3	±5.2
	0.34	50.0	±6.6	3.8	±1.8	46.3	±8.8	33.7	±8.8	16.3	±1.8
2mm steel wire	0.54	53.1	±8.9	0.6	±1.3	52.5	±9.8	25.0	±8.9	22.5	±4.1
	0.34	60.6	±12.3	2.5	±2.0	58.1	±13.4	20.6	±9.4	18.8	±8.8
3mm urethane tube	0.54	82.8	±7.6	16.9	±9.1	66.9	±15.6	6.1	±6.0	7.5	±8.5
	0.34	77.8	±5.9	9.7	±8.9	61.2	±7.8	7.8	±8.2	9.3	±8.2
3mm copper wire	0.54	87.5	±3.5	8.8	±1.8	78.8	±1.8	2.5	±3.5	10	±0
	0.34	80.0	±0.5	6.3	±1.8	73.8	±1.8	6.3	±1.8	13.8	±1.8

표 1에서와 같이 양파의 평균 줄기 절단율은 무처리 롤러의 경우 46.3~50.0%로 절단율이 매우 저조하였으며, 2mm철사를 감은 롤러는 53.1~60.6%, 3mm 우레탄 튜브를 감은 롤러는 77.8~82.8%, 3mm 동선을 감은 롤러는 80.0~87.5%로 나타나 서로 반대 방향으로 회전하는 절단율은 커지는 것으로 보인다. 롤러의 이송 속도의 차는 나타나지 않았다.

미절단의 원인은 양파 줄기는 롤러에 의하여 유도되었으나 절단날에 의하여 잘리지 않는 경우와 롤러가 양파 줄기를 유도하지 못하여 절단 기회가 없는 경우이다. 전자 원인으로 미절단된 양파의 비율은 무처리 롤러, 2mm철사를 감은 롤러, 3mm 우레탄 튜브를 감은 롤러, 3mm 동선을 감은 롤러의 경우 각각 33.7~37.5%, 20.6~25.0%, 6.1~7.8%, 2.5~6.3%로 나타났으며, 후자의 원인으로 미절단된 양파의 비율은 무처리 롤러, 2mm철사를 감은 롤러, 3mm 우레탄 튜브를 감은 롤러, 3mm 동선을 감은 롤러의 경우 각각 16.3%, 18.8~22.5%, 7.5~9.3%, 10.0~13.8%로 나타나 롤러 틈새가 작을수록 절단 날과 롤러의 미유도에 의한 미절단율이 크게 감소됨을 보였다.

절단부위별 줄기절단 양파의 비율을 보면 롤러에 의한 절단이 전체적으로 2.5~16.9 %로, 절단 날에 의한 절단이 43.8~78.8%로 나타나 의도와는 달리 롤러에 의한 절단이 매우 낮게 나타났다. 전반적으로 롤러에 양파줄기가 잘 유도되어 충분한 마찰 인장력에 의해 줄기가 절단되는 것이 바람직하나 진동하며 직선 운동과 회전운동을 동시하는 롤러의 운동 특성을 고려해 볼 때 이는 매우 곤란할 것으로 보이며 양파 줄기를 롤러로 잘 유도하여 절단 날로 절단하는 것이 타당할 것으로 판단되었다. 일본의 양파수확기에 채용되어 있는 줄기절단장치 초기 미절단율이 4.8~29.2%이었으나 최근 스파이럴 롤러를 이용한 디스크카터식의 줄기절단장치는 미절단율이 3~4%, 그리고 정치식의 줄기절단장치는 미절단율이 1~6% 까지 개선된 것으로 보고되어 구조 개선을 통한 절단율 향상이 이루어져야 될 것으로 보인다.

나. 손상율과 절단 줄기길이

표 2는 롤러 형태와 이송 속도에 따른 양파의 손상율과 줄기가 절단된 양파의 평균 절단 줄기길이와 절단 줄기길이 분포를 나타낸 것이다.

표에서와 같이 줄기 절단된 양파의 평균 손상율은 무처리 롤러의 경우 1.3~2.5%로 절단율이 매우 저조하였으며, 2mm철사를 감은 롤러는 1.9~5.0%, 3mm 우레탄 튜브를 감은 롤러는 8.6~12.2%, 3mm 동선을 감은 롤러는 6.3~8.8%로 나타나 롤러의 틈새를 작게 할수록 손상율은 커지는 경향으로 나타났는데 주로 이는 롤러 사이로 양파의 줄기가 말려들어가면서 양파의 구가 눌리는 현상이 때문이었다.

줄기 절단된 양파의 평균 줄기길이는 무처리 롤러의 경우 6.5~6.6cm로 절단율이 매우 저조하였으며, 2mm철사를 감은 롤러는 6.2~6.5cm, 3mm 우레탄 튜브를 감은 롤러는 6.1~6.2cm, 3mm 동선을 감은 롤러는 5.5~5.6%로 나타나 저장용 양파의 적정 줄기길이인 4~6cm보다는 약간 길게 나타났다.

저장용 양파의 적정 줄기길이인 4~6cm로 잘린 양파의 비율을 살펴보면 이송속도에 의한 차는 없었으며, 롤러의 처리 방법에 따라 무처리 롤러의 경우 약 13.8~16.3%, 2mm철사를 감은 롤러는 23.1~30.0%, 3mm 우레탄 튜브를 감은 롤러는 39.7~40.6%, 3mm 동선을 감은 롤러는 57.8~58.8%로 나타나 롤러의 틈새를 작게 할수록 정상 줄기절단 양파의 비율이 커지는 경향을 보였다.

Table 2 Percentage of bulb damaged, average neck length and its distribution of onion topped

Roller type	Conveying speed (m/s)	Damaged bulbs(%)		Neck length(cm)		Distribution of neck length(%)					
		Ave.	S.D.	Ave.	S.D.	4~6cm		6~8cm		>8cm	
						Ave.	S.D.	Ave.	S.D.	Ave.	S.D.
no wire or tube	0.54	2.5	±1.3	6.5	±1.2	16.3	±3.2	23.1	±6.3	5.6	±5.2
	0.34	1.3	±1.8	6.6	±1.3	13.8	±1.8	27.5	±7.1	5.0	±0
2mm steel wire	0.54	1.9	±1.3	6.5	±1.1	23.1	±6.6	21.9	±7.2	6.9	±2.4
	0.34	5.0	±2.0	6.2	±1.0	30.0	±13.7	25.0	±4.6	3.1	±3.8
3mm urethane tube	0.54	12.2	±6.1	6.1	±1.1	40.6	±10.6	22.9	±10.3	5.6	±4.8
	0.34	8.6	±5.5	6.2	±1.4	39.7	±16.0	25.0	±9.7	5.6	±5.4
3mm copper wire	0.54	6.3	±1.8	5.5	±1.2	57.5	±0	20.0	±3.5	1.3	±1.8
	0.34	8.8	±1.8	5.6	±1.1	58.8	±1.8	13.8	±1.8	1.3	±1.8

다. 개선점

본 롤러식 양파 줄기절단장치의 성능 시험 결과 롤러의 틈새가 커서 특히 함수율이 낮은

양파의 줄기의 경우 양파 줄기가 정상적으로 유도되는 비율이 낮게 나타났다, 롤러로의 동력전달이 복잡하고 작동 중 진동과 소음이 심하여 롤러의 틈새 유지가 어려웠다. 또한 일부 함수율이 높고, 줄기가 긴 양파의 줄기가 롤러 사이로 말려 들어가는 경우 절단이 되지 않고 롤러에 감기는 경우가 있어 롤러의 회전 시 부하가 걸리는 문제점이 발생하였다.

롤러가 양파 줄기를 잘 유도하더라도 절단날에서 순간적으로 부딪쳐 미절단 상태로 넘어가는 양파가 발생하여 양파줄기를 잘 유도할 수 있도록 절단 날 전방에 줄기 유도 가이드를 부착하는 것이 바람직한 것으로 보인다.

전반적으로 줄기절단 장치의 롤러 무게가 무겁고 동력전달이 복잡하며, 진동과 소음이 심하고, 줄기 절단율, 양파 손상을 등 성능도 높일 필요가 있어 자주식 양파수집기에 채용하기 위해서는 많은 개선이 필요한 것으로 판단되었다.

4. 결론

자주식 양파수집기에 사용할 수 있는 효과적인 양파 줄기절단장치 개발의 기초를 마련하고자 왕복동 절단 날이 부착된 롤러식 줄기절단장치를 설계 제작하여 롤러 형태, 롤러 양파 이송 속도에 따른 줄기 절단율과 줄기 손상을, 평균 절단 줄기길이 및 줄기길이별 분포를 조사하였다.

실험 결과 양파 줄기 절단율을 최대 87.5%로 나타났으나 양파 손상은 6.3%, 적정길이의 절단된 양파의 비율은 57.5%로 나타났다. 전반적으로 줄기절단 장치의 롤러 무게가 무겁고 동력전달이 복잡하며, 진동과 소음이 심하고, 줄기 절단율, 양파 손상을 등 성능도 높일 필요가 있어 자주식 양파수집기에 채용하기 위해서는 많은 개선이 필요한 것으로 보인다.

5. 참고문헌

1. Carson W. M., Jr. and L. G. Williams. 1969. Design and Field Testing of an Experimental Onion Topper. Transactions of the ASAE. 228-230.
2. Chesson J. H., H. Johnson, Jr., C. R. Brooks, R. G. Curley, P. F. Burkner, and R. M. Perkins. 1977. Mechanical Harvesting Investigations for Fresh Market Onions. Transactions of the ASAE.
3. Lepori, W. and P. Hobgood. 1970. Mechanical harvester for fresh market onions. Transactions of the ASAE. 13(4):517~519
4. Lorenzen, C., Jr. 1950. Development of a mechanical onion harvester, Agricultural Engineering. 31(1)13-15.
5. Maw B. W. D. A. Smittle, B. G. Mullinix, J. S. Cundiff. 1998. Design and Evaluation of Principles for Mechanically Harvesting Sweet Onions. Transactions of the ASAE. 41(3):517-524.
6. Wingate-Hill R. 1977. Performance of a Top-lifting Harvester for Early Onions. J. Agric. Engng Res. 22, 271-281
7. 川崎 建, 富田 貢, 金谷 豊. 1975. タマネギ用定置式 タッパの改良試験. 農業機械學會誌. 38(4)529-537.