

다단 배출 롤러를 이용한 농산물 선별기 개발[†]

- 통마늘 선별 실험 -

Development of a Fruit/Vegetable Sorter Using Multi-stage Rollers: An Application to Sort Garlic Bulbs

배영환*

정희원

Y. H. Bae

1. 서론

통마늘의 규격 출하를 확대하기 위해서는 선별과 포장 작업의 기계화가 필수적으로 요구된다. 국내에서 통마늘의 선별은 대부분 수작업의 의존하고 있어서 작업능률이 매우 낮으며, 또한 작업자의 숙련도에 따라 선별의 정확도가 크게 좌우되고 있다. 특히 통마늘은 품종과 산지에 따라 모양이 다양하고 형상이 구형에서 크게 벗어나 있기 때문에 정확한 선별이 상대적으로 어렵다. 마늘 주산지를 중심으로 통마늘 선별기의 필요성에 대한 인식은 점차 확대되고 있으나, 기계의 개발과 보급은 매우 미흡한 실정이다. 일부 주산지에서 간격확장식 롤러를 이용한 과일 선별기를 통마늘 선별에 사용하고 있으며, 농촌진흥청 농업기계화연구소에서는 부채꼴봉식 통마늘 선별기를 개발한 바 있다(조 등, 2000).

본 연구는 개별 농가 또는 농산물 집하장에서 사용할 수 있는 통마늘 선별기를 개발하는 것을 목적으로 한다. 이를 위하여 정부 기관에서 제정한 통마늘 관련 선별규격을 조사하였으며, 다단 배출 롤러를 이용한 통마늘 선별기를 제작하여 그 성능을 평가하고 기존의 선별기와 비교하였다.

2. 재료 및 방법

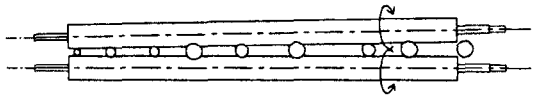
가. 시작기 제작

일부 지역에서 사용되고 있는 간격 확장형 롤러 선별기는 지름이 균일한 한 쌍의 롤러 사이의 간격이 통마늘 투입구 측으로부터 최종 출구 측으로 갈수록 점차 넓어지는 구조를 가지고 있다. 본 연구에서는 롤러의 형상과 배치를 달리하여 롤러의 길이 방향으로 등급간의 크기 차에 해당하는 턱(단)을 다수 형성한 롤러를 평행하게 설치하는 방식을 채택하였다.

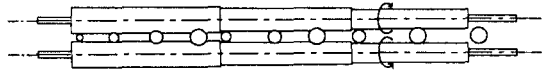
기존의 선별기는 롤러 지름이 균일한 반면, 1차 시작기의 롤러 지름은 80, 70, 60, 20 mm

[†] 본 연구는 농림부 농림기술개발사업의 지원에 의해 수행된 것임.

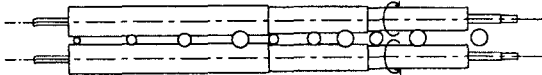
* 순천대학교 농과대학 농업기계공학과



(a) 간격확장식 롤러



(b) 1차 시작기의 다단 배출 롤러



(c) 2차 시작기의 다단 배출 롤러

그림 1. 기존의 간격확장식 롤러와 1차 및 2차 시작기의 롤러 형상 비교

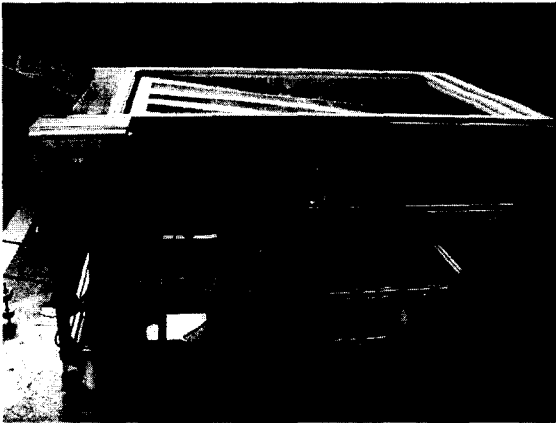


그림 2. 다단 배출롤러를 이용한 2차 시작기

조절되도록 하였다. 롤러 표면 사이의 간격은 지름이 90 mm인 1단에서 32.5 mm를 기준으로 ± 15 mm의 범위에서 조절되도록 설계하였다.

롤러의 회전속도는 교류 인버터를 사용하여 인가 주파수를 조절함으로써 6개의 롤러를 구동하는 0.5 마력 3상 4극 교류 모터의 회전수를 제어하도록 하였다. 그림 2는 2차 시작기의 외형을 나타낸 것이다.

나. 작동조건에 따른 통마늘의 이송속도 조사

크기와 무게별로 다양한 통마늘을 대상으로 롤러의 경사도와 회전속도에 따른 통마늘의

로, 각 단의 길이는 450, 400, 353, 100 mm로 제작하였다. 1차 시작기를 평가한 결과 선별 롤러의 첫 단계는 크기 선별뿐만 아니라 통마늘을 정렬하는 기능을 가져야 한다는 점이 인식되었으며, 마늘의 줄기가 과도하게 긴 경우에 대처하기 위하여 롤러의 지름을 보다 확대할 필요성이 제기되었다. 따라서 2차 시작기는 롤러 지름을 90, 80, 70, 20 mm로 하였으며, 각 단의 길이는 600, 300, 300, 100 mm로 하였다. 그림 1은 기존의 선별기와 1차 및 2차 시작기의 롤러 형상을 비교한 것이다.

2차 시작기는 또한 롤러의 경사도와 롤러 사이의 간격을 쉽게 조절할 수 있도록 설계하였다. 프레임을 바디 프레임(body frame)과 틸팅 프레임(tilting frame)으로 분리하고, 롤러 경사도의 조절은 틸팅 프레임의 한 쪽에 UCP 베어링을 이용한 고정 축을 구성하고, 그 고정축을 기준으로 하여 반대편에서 업다운 스크루를 회전시켜 조절하였다.

3조 배출롤러의 간격은 틸팅 프레임에 설치된 배출롤러 3개와 틸팅 프레임의 상부에 설치된 서브 프레임 배출롤러 3개가 조절 핸들의 회전에 따라 사분 점에 설치된 4개의 삼각 베드에서 슬라이드 되어

이송속도를 조사하였다. 롤러의 경사각은 5, 7.5, 10도의 3단계로 설정하였으며, 롤러의 회전 속도는 29 rpm부터 232 rpm까지 29 rpm 간격으로 8단계로 조절하였다. 지름이 80 mm인 두 롤러 사이의 간격이 25 mm가 되도록 조절한 상태에서 통마늘이 368 mm의 거리를 통과하는 시간을 초시계를 이용하여 0.01초 단위로 측정하여 통마늘의 이송속도를 계산하였다.

다. 시작기 성능 평가

1) 1차 시작기 성능평가

2000년도에 수확한 난지형 남해 마늘 580개(무게 19.9 kg)를 이용하여 기존의 간격확장식 롤러 선별기와 1차 시작기인 다단 롤러 선별기의 성능을 비교하였다. 다단 롤러 선별기는 한 쌍의 롤러 사이의 간격이 30, 40, 50 mm가 되도록 조절하였으며, 기존 선별기인 간격확장식 롤러는 1단(소), 2단(중), 3단(대)의 끝에서 간격이 각각 31.1, 40.0, 49.8 mm가 되도록 조절하였다. 선별 롤러는 마늘 투입구에서 배출구 측으로 5도의 경사를 갖도록 설치하였으며, 롤러의 회전속도는 178 rpm으로 조정하였다. 각 처리에 대하여 2회 반복실험을 실시하였다.

2) 2차 시작기 성능평가

2002년도에 생산된 남해산 난지형 통마늘과 단양산 한지형 통마늘을 대상으로 시험을 실시하였다. 난지형의 경우에는 롤러의 간격이 35, 45, 55 mm가 되도록 조정하였으며, 한지형의 경우에는 롤러의 간격이 25.5, 35.5, 45.5 mm가 되도록 조정하였다. 교류 인버터를 사용하여 롤러의 회전속도를 178, 207, 238 rpm으로 조절하였으며, 롤러의 경사각을 난지형의 경우에는 5, 7.5, 10도의 3단계로, 한지형의 경우에는 5도와 7.5도의 2단계로 조절하였다. 마늘 줄기의 길이를 3, 5, 7 cm의 3단계로 설정하여 실험을 실시하였다. 각 처리에 대하여 2회 반복하여 실험을 실시하였다. 각 처리에 대하여 선별의 정확도를 조사하였으며, 선별기의 작업능률을 산정 하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 통마늘 선별 기준

표준규격은 크게 등급규격과 포장규격으로 구성된다. 등급규격은 농산물의 고르기, 선택, 모양, 당도 등의 다양한 품질요소와 크기, 무게에 의하여 특, 상, 보통의 3단계로 구분하는데, 농산물 개체에 대한 기준이 아니고 포장단위에 대한 규격으로 일원화되어 있다.

난지형 및 한지형 통마늘의 등급규격은 표 1과 같다. 통마늘의 크기 구분은 1 cm 간격으로 등급이 설정되어 있으며, 난지형 통마늘의 크기 구분은 같은 등급의 한지형에 비하여 0.5 cm 더 크게 설정되어 있다.

나. 선별기 작동조건에 따른 통마늘 이송속도

통마늘 개체의 무게는 이송속도에 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

표 1. 통마늘 등급규격 (일부 발취)

등급 항목	특	상	보통
고 르 기	크기 구분표상 크기가 다른 것 이 10%이하로 섞인 것	크기 구분표상 크기가 다른 것 이 20%이하로 섞인 것	“특·상”에 미달하는 것
크 기	“대” 이상인 것	“중” 이상인 것	

【크기 구분】 1구의 지름 (단위: cm)

호칭 구분	특대	대	중	소
난지형	5.5 이상	4.5~5.5	3.5~4.5	2.5~3.5
한지형	5.0 이상	4.0~5.0	3.0~4.0	2.0~3.0

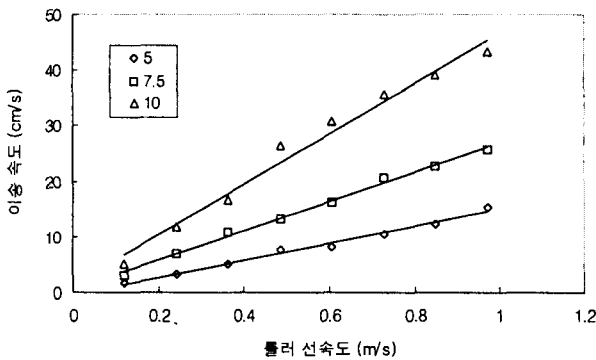


그림 3. 롤러의 경사도와 선속도에 따른 통마늘 이송속도

그림 3은 롤러의 설치각도와 회전속도를 달리 하였을 때 최장경 62.5 mm, 무게 51.6 g의 난지형 통마늘이 25 mm 간격으로 설치된 지름 80 mm의 롤러 사이를 368 mm 통과하는 시간을 각 10 회 측정하여 결과를 나타낸 것이다.

롤러의 회전속도와 설치 경사각이 증가할수록 통마늘의 이송속도가 증가하는 것을 알 수 있다. 따라서 통마늘 선별기의 작업능률은 정상적으로는 롤러의 경사도와 회전속도에 비례하여 증가할 것이다.

다. 1차 시작기 성능시험 결과

표 2는 남해산 난지형 통마늘을 대상으로 기존의 간격확장식 롤러 선별기와 1차 시작기인 다단롤러 선별기를 비교 실험한 결과를 나타낸 것이다. 1단(소)의 경우에는 마늘 크기의 하한이, 4단(특대)의 경우에는 마늘 크기의 상한이 제한되지 않기 때문에 처리한 크기 분포를 비교하기에 적합하지 않은 것으로 판단하였다. 따라서 두 선별기의 선별성능은 중간 단계인 2단(중)과 3단(대)에 대하여 비교하였다.

1차 시작기인 다단 롤러 선별기의 경우에는 2단(중)에서 최장경의 변이계수의 평균이 12.80, 3단(대)에서 최장경의 변이계수의 평균이 9.64이었다. 기존 롤러 선별기의 경우에는 2단(중)에서 최장경의 변이계수의 평균이 14.56, 3단(대)에서 최장경의 변이계수의 평균이 11.0인 것으로 나타났다. 따라서 시작기인 다단 롤러 선별기의 경우에 최장경의 변이계수가 보다 작기 때문에 선별의 정확도가 더 높은 것으로 평가되었다.

두 선별기에서 2단(중)의 변이계수가 3단(대)의 변이계수보다 크게 나타난 것은 2단으로 선별된 통마늘의 최장경의 평균이 3단에서 선별된 것보다 작은 것도 하나의 요인이지만, 마늘 투입구 부근의 롤러 위에서 통마늘의 정렬상태가 불량하여 크기가 작은 마늘이 롤러에서 튀거나 큰 통마늘에 올라 탄 상태로 상위 등급 측으로 이송되는 경우가 발생하기 때문인 것으로 관찰되었다. 따라서 통마늘 선별의 정확도를 향상시키기 위해서는 투입구 부근에서의 정렬이 매우 중요하다는 것을 확인할 수 있었다.

표 2. 기존 선별기와 1차 시작기의 성능 비교

처리	크기 구분	기존 선별기에 의한 선별				1차 시작기에 의한 선별			
		개수	최장경 (mm, %)			개수	최장경 (mm, %)		
			평균	표준편차	변이계수		평균	표준편차	변이계수
반복 1	특대	81	63.92	5.26	8.23	113	63.38	3.78	5.96
	대	154	55.36	6.46	11.67	114	55.01	5.29	9.62
	중	133	42.77	6.60	15.43	132	44.13	6.48	14.68
	소	185	31.72	3.61	11.38	212	32.33	5.34	16.52
반복 2	특대	90	63.87	3.73	5.84	106	62.54	9.44	15.09
	대	137	55.50	5.73	10.32	119	55.18	5.33	9.66
	중	136	43.56	5.96	13.68	117	45.45	4.96	10.91
	소	191	31.98	4.42	13.82	223	32.38	4.58	14.14

라. 2차 시작기 성능시험 결과

남해산 난지형 마늘을 대상으로 2차 시작기의 성능을 시험하여 중간 계급인 2단(중)으로 선별된 통마늘의 최장경의 변이계수를 SAS 프로그램을 이용하여 요인분석한 결과 줄기 길이, 롤러 경사도 및 줄기 길이와 롤러 경사도의 상호작용에 대하여 변이계수의 평균간에 고도의 유의차가 인정되었다. 5% 유의수준에서 평균간의 차에 대하여 Duncan 검정을 시행한 결과 줄기 길이 3, 5, 7 cm에 대한 변이계수의 평균이 각각 7.92, 8.73, 9.46으로서 줄기 길이에 대한 각 처리간의 유의차가 인정되었다. 롤러의 경사도에 대해서는 경사각 5도, 7.5도, 10도에 대하여 변이계수의 평균이 각각 8.42, 8.74, 8.95로서 경사도 5도와 나머지 사이에 유의차가 인정되었다. 롤러의 회전속도는 선별의 정확도에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

2단(중)으로 선별된 남해산 난지형 통마늘의 최장경의 변이계수를 줄기 길이와 롤러 경사도에 대하여 살펴보면, 줄기 길이 3 cm와 7 cm의 경우에는 롤러의 경사도에 관계없이 최장경의 변이계수가 일정한 것으로 나타났으며, 줄기 길이 5 cm의 경우에는 롤러의 경사도가 증가할수록 변이계수가 증가하여 선별의 정확도가 저하되는 것으로 나타났다.

실험 결과로부터 줄기 길이를 5 cm 이하로 하고 롤러의 경사도를 5도 내외로 하면 롤러의 회전속도에 관계없이 최적의 선별 정확도를 얻을 수 있으며, 이 때의 최장경의 변이계수는 7.9 정도가 될 것이라는 것을 알 수 있었다. 실험에 사용된 통마늘 시료가 다르기 때문에

직접적인 비교는 어렵지만, 롤러 회전속도 178 rpm, 롤러 경사도 5도의 조건에서 실시한 난지형 통마늘에 대한 기존의 간격확장식 롤러 선별기의 2단(중)에 대한 최장경의 변이계수가 14.6이었으며, 1차 시작기의 동일한 조건에 대한 변이계수가 12.80이었음을 고려할 때, 2차 시작기의 성능은 기존의 선별기와 1차 시작기에 비하여 상당히 향상되었음을 알 수 있었다.

작동 조건에 따른 2차 시작기의 작업능률은 줄기 길이 3 cm의 경우에는 롤러의 경사도가 증가할수록 작업능률이 향상되었으며, 롤러 회전속도의 영향은 상대적으로 작은 것으로 나타났다. 줄기 길이 5 cm의 경우에도 유사한 경향을 나타내었다. 줄기 길이 7 cm의 경우에는 줄기가 짧은 경우에 비하여 작업능률이 저하되는 것으로 나타났다. 이는 통마늘의 줄기가 길게 남아있는 경우에는 줄기가 마늘의 정렬과 원활한 흐름을 방해하며, 또한 선별 롤러와 커버 플레이트 사이의 공간에 줄기가 끼는 경우가 발생하였기 때문이다. 난지형 통마늘에 대한 2차 시작기의 작업능률은 줄기 길이가 5 cm 이하이고 롤러 경사도가 5도인 경우에 롤러 회전속도 178, 207, 238 rpm에 대하여 각각 평균 878, 977, 996 kg/hr로서 회전속도의 증가가 작업능률에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 1차 시작기의 경우 롤러 경사각 5도, 회전속도 178 rpm에서 난지형 통마늘에 대한 작업능률이 730 kg/hr 이었던 것과 비교하면 2차 시작기의 작업능률이 약 20.3% 향상된 것을 알 수 있다. 작업능률 향상의 한 요인으로 롤러 지름의 확대에 따른 선속도의 증가를 들 수 있다.

한지형 통마늘에 대한 2차 시작기의 작업능률은 줄기 길이가 5 cm 이하이고 롤러 경사각이 5도인 경우에 롤러 회전속도 178, 207, 238 rpm에 대하여 각각 평균 687, 739, 835 kg/hr로 나타났다.

4. 요약 및 결론

- 1) 작업능률은 롤러의 간격과 경사도에 비례하며, 롤러 회전속도의 영향은 상대적으로 작다.
- 2) 줄기 길이가 7 cm인 경우에는 마늘 이송과 정렬이 불량하여 작업능률이 저하된다.
- 3) 시작기의 최대 작업능률은 경사도 10도, 롤러 회전속도 207 rpm일 때 1,656 kg/hr인 것으로 나타났다.
- 4) 선별의 정확도에 가장 큰 영향을 미치는 요인은 줄기 길이였으며, 다음은 롤러 경사도이었다.
- 5) 시작기의 적정 작업조건은 줄기 길이 3 cm 이하, 롤러 경사도 5도 내외인 경우로서 이때의 작업능률은 난지형의 경우 942 kg/hr, 한지형은 875 kg/hr 이었다.

5. 참고문헌

- 1) 김종훈, 정성근, 배영환. 2002. 마늘의 수확 후 전처리, 선별 및 포장시스템 개발. 농림부 연구보고서 GA0287-0216. pp. 139-202.
- 2) 조남홍, 최승묵, 박종률, 조영길, 이영희. 2000. 부채꼴봉식 마늘선별기 개발. 한국농업기계학회 2000년 하계 학술대회 논문집. 5(2): 236-242.