

박피마늘의 품위 판정 기술 개발에 관한 기초연구(I)† -영상식 마늘 선별기용 반전장치 개발- Development of Quality Evaluation Technique for Peeled Garlics(I) † -Rotation System for Vision-based Garlic Sorter-

이중환*, 이성범*, 안정운*
정회원 정회원
J. W. Lee*, S. B. Lee*, C. W. An*

1. 서론

마늘의 유통은 깎 마늘 및 분말 마늘 형태로 급격히 변화되고 있으며 조미 소재 및 김치 가공공장 등에서 가공용 마늘의 수요가 늘어나면서 박피마늘의 수요도 지속적으로 증가할 것이다. 마늘 가공공장에서는 마늘을 박피하기 위해 주로 기계식 마늘 박피기계를 사용하지만, 박피마늘과 미박피마늘을 분리하거나 흠집 마늘, 부패 마늘 및 변색 마늘 등을 분리하는 작업은 대부분 인력에 의존하고 있다. 따라서, 처리용량에 비하여 에너지 및 노동력이 과다하게 투입되고 있어 박피와 선별을 연속으로 수행할 수 있는 시스템의 개발이 요구된다.

김철진 등(1993)은 마늘 선별을 위한 기계식 선별기의 개발과 마늘의 색채 선별을 위한 메커니즘 구명을 시도하였다. 박재복과 김종태(1994)은 박피마늘과 미박피마늘의 마찰계수 차이를 이용한 마찰식 마늘 선별기를 개발하였는데 선별율은 약 89~97%이고 처리능력은 600g/min이었다. 그러나, 처리능력이 낮고 변색, 변질된 마늘은 선별할 수 없다.

이상엽 등(1999a, 1999b)은 포토센서 또는 흑백기계시각장치를 이용한 박피마늘의 품위 판정 알고리즘을 개발하였는데, 전체적인 선별정도는 90%내외로 나타났으며, 실용화를 위해서는 미박피마늘 및 흠집마늘에 대한 선별오차를 줄이는 것이 필요하다고 하였다.

영상분석에 의해 마늘의 품위를 판정하기 위해서는 마늘 전면에 대한 영상획득이 요구된다. 이를 위해 여러 대의 카메라를 이용하여 자세가 고정된 마늘에 대한 영상을 여러 방향에서 획득하는 방식이 있으나 조명장치 및 카메라의 설치방법 등이 어려워 실용적이 못하다. 일부에서는 흠이 있는 롤러가 자전하면서 전진하는 이송장치를 이용하여 마늘에 대한 띠(strip) 형태의 표면 영상을 획득하는 방식을 시도하고 있다. 여기에서는 일정한 간격으로 작은 판(plate)이 여러 개 부착된 벨트를 이용한 반전장치를 제작하여 마늘의 반전 전과 후의 순차적 영상으로부터 마늘 전체면에 대한 영상 정보를 얻는 방식을 사용하였다.

이 연구에서는 영상식 마늘 품위판정장치 개발에 관한 연구의 일환으로 마늘 전체면 영상을 획득하기 위한 반전장치를 설계, 제작하고 성능을 분석하고자 하였다.

† 이 연구는 한경대학교 자체학술연구비에 의해 수행되었음.

* 한경대학교 생물자원기계학과

2. 재료 및 방법

가. 공시재료

이 연구에서는 경남 남해마늘과 충북 단양마늘을 공시재료로 사용하였다. 통마늘은 수작업에 의해 박피하였으며, 육안에 의해 마늘을 크기별 3단계로 구분한 후 쪽 마늘의 길이, 폭, 두께 및 중량을 크기별로 측정하였다. 그리고, 반전장치 개발을 위해 마늘의 품종 및 크기, 박피 유무, 박피마늘과 미박피마늘의 혼합비 등에 따른 실험을 수행하였다.

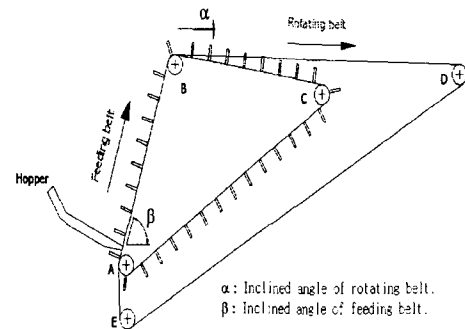
나. 마늘 반전장치의 개발

영상식 마늘 선별장치를 개발하기 위해서는 마늘의 품위판정 알고리즘, 반전장치, 공급장치, 배출장치 및 시스템 자동화 장치 등이 개발되어야 한다. 이 연구에서는 마늘 반전장치의 개발을 위한 기본방침으로 다음을 고려하였다. ① 영상처리장치에 의해 박피마늘의 전체 영상을 획득하기 위해 마늘을 반전시킨다. ② 마늘이 반전된 후 품위 판정이 완료될 때까지 자세가 그대로 유지되도록 한다. ③ 이송 및 반전 중 박피마늘에 손상을 주지 않도록 한다. ④ 마늘의 공급, 반전 및 배출이 하나의 장치에서 수행되도록 시스템을 구성한다.

(1) 마늘의 반전 및 공급장치 제작

여러 개의 판으로 구성되는 판열(板列)이 일정한 사이각으로 부착된 반전롤러를 제작하고, 마늘을 판열 위에 놓고 회전시키면서 마늘의 반전 현상을 관찰하였다. 이때, 시중에서 유통되고 있는 마늘의 크기와 형상 등을 고려하여, 각 판열을 구성하는 판의 개수(4), 높이(18mm) 및 폭(2.5mm), 판 사이의 간격(4mm), 이웃하는 판열과의 사이각(60°) 등을 검토하였다. 그리고, 검토결과를 바탕으로 다양한 형태의 마늘 이송 및 반전장치를 제작하여 일정한 속도로 이송되는 마늘의 반전특성을 파악한 결과, 판열이 회전롤러에 의한 회전운동이 아닌 평 벨트에 의한 직선운동이 되도록 하여야 하며 최종적으로 <Fig. 1>과 같은 벨트형 마늘 반전장치를 고안, 제작하게 되었다.

벨트형 마늘 반전장치는 판열이 일정한 간격으로 부착된 공급벨트(폭=45mm), 다열(多列)의 평 벨트로 구성된 반전벨트, 공급용 호퍼 및 구동부로 구성된다. 공급벨트는 A축, B축 및 C축으로, 반전벨트는 A축, B축, D축 및 E축으로 연결되며, 공급벨트와 반전벨트는 AB구간에서 겹친다. 구동축은 C이다. 공급벨트에 개체 공급된 마늘은 B를 통과하면서 반전되기 시작하여 반전벨트로 이동하면서 반전이 완료되는데 반전벨트는 마늘의 반전상태를 유지시켜 주는 역할을 한다.



<Fig. 1> Schematic diagram of belt type garlic rotation system.

(2) 설계 및 작동인자

(가) 이송속도

인력에 의한 마늘의 선별능률은 40kg/hr 정도이고 10인의 인력을 대체하는 것으로 가정하면, 영상식 마늘 선별장치의 선별능률은 마늘의 평균중량을 5.5g로 할 때 초당 20개로 계산된다. 마늘의 품위 판정을 위한 영상분석에서 한 프레임(Frame)으로 처리하는데 적합한 마늘의 이송열(移送列)의 개수를 4열로 가정하면 반전장치의 작업능률은 5개/초가 된다. 따라서, 이 연구에서는 이송속도에 대한 실험수준을 6.4개/초, 5.2개/초 및 4.2개/초로 하였다.

(나) 공급벨트의 판열 높이

마늘의 크기에 따라 공급 및 반전 현상이 달라지므로, 공급벨트에 부착된 판열의 높이는 마늘 반전장치의 중요한 설계인 자중 하나가 된다. 이 연구에서는 판열의 높이를 18mm와 22mm로 하고 각각에 대한 마늘의 공급 및 반전 특성을 분석하였다.

(다) 반전벨트 경사각

공급된 마늘은 B축 부근에서 반전하면서 반전벨트 쪽으로 이동하는데, 이때 <Fig. 1>에 표시한 반전벨트 경사각(α)은 마늘의 반전현상에 중요한 인자로 나타났다. 이 연구에서는 반전벨트 경사각, 0° , 10° 및 20° 에 대한 품종별, 이송속도별 반전특성을 조사하였다.

(라) 공급벨트 경사각

마늘의 개체공급에 적합한 공급벨트 경사각을 구명하기 위해, <Fig. 1>에 나타난 공급벨트 경사각(β)을 65° , 70° 및 75° 로 하여 품종별, 이송속도별 공급율을 측정하였다.

(3) 성능평가

(가) 반전을 및 공급율

반전은 마늘 반전장치의 성능을 좌우하는 중요한 인자이다. 마늘을 하나씩 공급시키면서 반전여부를 육안으로 조사하고, 식(1)을 이용하여 반전을 계산하였다. 한편, 육안에 의해 공급벨트에 부착된 판열과 판열 사이에 한 개씩 마늘이 공급된 개수를 측정하였다. 2개 이상 공급되거나 빈 상태인 경우는 식(2)의 분모에는 포함되지만 분자에는 포함되지 않는다.

$$\text{반전율} = \frac{\text{반전된 마늘의 총 개수}}{\text{개체 공급된 마늘의 총 개수}} \times 100 [\%] \quad (1)$$

$$\text{공급율} = \frac{\text{개체 공급된 마늘의 총 개수}}{\text{공급벨트 판열의 이송개수}} \times 100 [\%] \quad (2)$$

(나) 반전장치의 성능인자

마늘 반전장치의 성능은 식(3)과 식(4)의 공급반전율 및 작업능률로 평가할 수 있다.

$$\text{공급반전율} = \text{공급율} \times \text{반전율} \div 100 [\%] \quad (3)$$

$$\text{작업능률} = (\text{공급반전율} \div 100) \times \text{이송속도} \quad [\text{개/초}] \quad (4)$$

(다) 박피마늘과 미박피마늘의 혼합비에 따른 성능시험

벨트형 마늘 반전장치의 실용성을 확인하기 위해 원료의 구성비, 즉 박피마늘과 미박피마늘의 혼합비에 따른 작업성능을 분석하였다. 박피마늘과 미박피마늘의 혼합비가 각각 8:2, 7:3 및 6:4일 때, 마늘 반전장치의 공급율, 반전을 및 공급반전을 품종별로 분석하였다. 이를 위해, 반전율과 공급율을 우수하게 나타낸 설계 및 작동조건을 중심으로 실험하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 마늘의 크기별 기하학적 특성

마늘 반전장치 개발을 위한 기초자료로 사용하기 위해 마늘의 크기별 기하학적 특성을 측정하였다. 육안에 의해 마늘을 크기에 따라 상, 중, 하로 구분하고 박피마늘 및 미박피마늘의 길이, 폭, 높이 및 중량을 실측한 결과, <Table 1>과 같았다.

<Table 1> Physical properties of garlic samples by their size

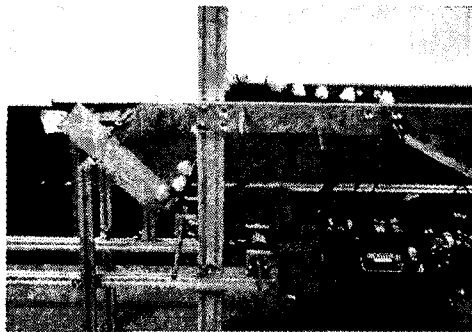
Variety	Size	Property	Max. value	Min. value	Mean	St. dev.
Namhae garlics	Large	length [mm]	36.3 / 36.4	25.4 / 28.7	30.6 / 32.2	2.14 / 1.89
		width [mm]	24.5 / 27.1	16.9 / 20.2	21.0 / 23.3	1.82 / 1.52
		thickness [mm]	28.3 / 30.2	14.2 / 16.8	19.2 / 22.1	2.50 / 2.71
		weight [g]	8.1 / 9.2	5.1 / 5.4	6.2 / 7.0	0.71 / 0.97
	Medium	length [mm]	32.2 / 34.0	16.6 / 25.2	28.0 / 30.1	2.72 / 1.93
		width [mm]	22.0 / 24.1	16.2 / 19.1	19.3 / 21.4	1.37 / 1.12
		thickness [mm]	19.9 / 22.4	13.0 / 14.5	16.5 / 18.1	1.65 / 1.96
		weight [g]	6.2 / 7.6	4.4 / 4.6	4.6 / 5.5	0.60 / 0.61
	Small	length [mm]	28.9 / 31.1	18.9 / 22.3	25.1 / 26.4	1.45 / 2.05
		width [mm]	19.6 / 23.1	12.4 / 12.8	16.1 / 17.4	1.37 / 2.22
		thickness [mm]	16.9 / 19.7	8.6 / 9.8	13.2 / 14.0	1.74 / 2.44
		weight [g]	4.1 / 4.3	2.1 / 2.5	2.6 / 3.0	0.54 / 0.49
Danyang garlics	Large	length [mm]	36.9 / 42.3	25.8 / 28.7	32.1 / 34.0	1.68 / 2.84
		width [mm]	28.1 / 29.1	19.8 / 20.0	23.1 / 23.9	1.34 / 1.69
		thickness [mm]	30.0 / 32.1	14.2 / 18.2	21.1 / 24.1	2.77 / 2.67
		weight [g]	8.2 / 9.1	5.2 / 5.5	6.1 / 7.4	0.74 / 1.10
	Medium	length [mm]	33.3 / 35.6	21.5 / 23.8	21.5 / 29.5	1.77 / 2.07
		width [mm]	23.9 / 29.7	17.4 / 17.7	21.1 / 22.0	1.27 / 2.01
		thickness [mm]	23.3 / 27.3	11.2 / 12.5	18.7 / 20.1	2.28 / 2.71
	Small	weight [g]	6.3 / 8.1	3.3 / 4.5	5.0 / 5.5	0.52 / 0.72
		length [mm]	31.7 / 36.0	22.2 / 25.1	26.2 / 29.0	1.99 / 2.22
		width [mm]	22.5 / 26.9	11.4 / 13.2	16.6 / 18.3	1.80 / 2.36
		thickness [mm]	19.9 / 21.1	9.2 / 10.4	15.6 / 16.5	2.02 / 2.19
			weight [g]	5.2 / 5.4	2.1 / 2.4	3.9 / 3.6

Note) Upper values of slash are for peeled garlics and lower values are for unpeeled garlics, respectively.

나. 마늘 반전장치의 개발

(1) 마늘 반전장치 제작

<Fig. 2>와 <Table 2>는 실험을 위해 제작한 벨트형 마늘 반전장치에 대한 사진과 재원을 나타낸다. 마늘을 공급벨트로 투입하기 위한 별도의 투입장치는 사용하지 않고, 수작업에 의해 2~4개의 마늘이 공급용 호퍼에 있도록 조절하였다. 이송 중 마늘이 낙하하는 것을 방지하기 위해 각 벨트 양 측면에 안내 역할을 하는 아크릴 판을 부착하였다.



<Fig. 2> Picture of belt type garlic rotation system used for in this experiment.

<Table 2> Specifications of belt type garlic rotation system

Item		Specification	Remark
Size		710×750×140mm	L×H×W
Feeding belt	Inclined angle	65° ~ 75°	adjustable
	Size of plate on belt	2×18 mm	L×H
Rotating belt	Inclined angle	0~20°	adjustable
	Width	5 mm	
	Space between each belt	5 mm	No. of belt=4
Conveying speed		0~100 rpm	

(2) 설계 및 작동인자의 분석

(가) 반전벨트 경사각

반전벨트 경사각이 반전율이 미치는 영향을 구명하기 위해, 품종별, 박피 유·무별(각각 대·중·소 크기별로 100개씩)로 3회 반복실험을 수행하였다. <Table 3>은 시료마늘에 대한 반전율을 품종 및 박피유·무를 구분하지 않고 평균하여 나타낸 것이다.

<Table 3> Mean values of rotating rate of garlics according to the inclined angle of rotating belt [unit : %]

Height of plate array at rotating belt		18mm			22mm		
Inclined angle of rotating belt		20°	10°	0°	20°	10°	0°
Rotating rate	4.2 garlics/sec	78.1	72.1	56.7	81.1	75.4	65.4
	5.2 garlics/sec	76.3	66.7	55.0	81.0	75.6	65.8
	6.4 garlics/sec	72.1	63.4	45.4	78.8	74.2	61.2

반전벨트 경사각이 0° 일 때는 낮은 반전율을 보였으며, 공급벨트 판열의 높이가 18mm일 때, 20° 와 0° 간에는 평균처리간 차이에 통계적 유의성을 보였다. 미박피마늘의 경우에는 공급벨트 판열의 높이에 관계없이, 반전벨트의 경사각이 증가할수록 그리고 이송속도가 낮

올수록 높은 반전율을 보였다. 따라서, 반전벨트의 경사각은 10° 이상으로 하고, 이송속도는 6 garlics/sec 이상을 벗어나지 않는 것이 바람직하다고 판단된다.

육안으로 보았을 때 반전이 되지 않는 마늘의 특징은 공급벨트의 판열에 안착하지 못하였거나 마늘의 길이방향이 판열의 높이 방향으로 놓이는 것이 많았다.

(나) 공급벨트 경사각

공급벨트 경사각(65°, 70° 및 75°)이 공급율에 미치는 영향을 분석하기 위해, 반전벨트 경사각에서와 같이 반전을 분석품종별, 박피 유·무별로 3회 반복실험을 수행하였다.

<Table 4>에서와 알 수 있듯이 시료의 종류에 관계없이 공급벨트 경사각이 65° 일 때, 가장 높은 공급율을 나타냈으며, 공급벨트 판열의 높이가 22mm이고 이송속도가 4.2 garlics/sec일 때와 18mm이고 5.2 garlics/sec일 때에는 각각 평균처리간 공급율 차이에 통계적 유의성을 보였다. 한편, 공급벨트 판열의 높이가 22mm일 때가 18mm일 때보다 우수한 공급율을 보였다. 이송속도가 6.4 garlics/sec일 때는 낮은 공급율을 보였으며, 이러한 현상은 미박피마늘보다 박피마늘에 대한 공급율에서 약간 높은 경향을 보였다.

따라서, 공급벨트의 경사각은 65° 로 하고, 이송속도는 6 garlics /sec 이상을 벗어나지 않는 것이 바람직하다고 판단된다. 한편, 공급율은 마늘이 공급벨트의 판열에 자리를 잡는 상태에 의해 결정되는데, 판열의 이송속도가 고속이거나, 판열의 높이가 낮으며, 공급벨트의 경사각이 클수록, 안정된 자세로 공급벨트의 판열에 안착될 확률이 떨어진다.

<Table 4> Mean values of feeding rate of garlics according to the inclined angle of feeding belt [unit : %]

Height of plate array at feeding belt		18mm			22mm		
		75°	70°	65°	75°	70°	65°
Feeding rate	4.2 garlics/sec	65.4	70.3	76.1	69.2	77.3	85.0
	5.2 garlics/sec	65.4	70.3	76.1	66.9	73.5	81.9
	6.4 garlics/sec	58.2	68.1	68.5	59.2	71.9	76.3

(3) 마늘 반전장치의 성능평가

공급율과 반전율이 우수한 것으로 나타난 설계 및 작동인자를 바탕으로, 마늘 반전장치의 성능을 평가하였다 이를 위해 박피마늘 및 미박피 마늘의 혼합비를 8:2, 7:3 및 6:4로 변화시키면서 공급반전율과 작업능률을 분석하였는데, 원료의 조성은 마늘크기에 따른 편의(偏倚)를 최소화하기 위해 크기별 분포를 대:중:소 = 2:7:1가 되도록 하였다.

마늘 2품종(남해마늘과 단양마늘)에 대해, 공급벨트의 판열의 높이, 공급벨트과 반전벨트 경사각의 수준을 각각 22mm, 65° 및 20° 로 하고 이송속도 2수준(4.2개/초와 5.2개/초)에 대해 실험하였는데, <Table 5>는 마늘의 원료 혼합비에 따른 공급반전율 및 작업능률을 나타낸다.

<Table 5> Capacity of belt type garlic rotation system according to garlic mixture rate(Height of plate on feeding belt, the inclined angles of feeding belt and rotating belt are 22mm, 65° and 20°, respectively.)

Variety	Conveying speed [garlics/sec]	Mixture rate (peeled garlic : unpeeled garlic)	Feeding rate [%]	Rotating rate [%]	Feeding-rotating rate [%]	Capacity [garlics/sec]
Namhae garlics	4.2	6:4	85.7	88.9	76.1	3.20
		7:3	86.7	88.3	76.5	3.21
		8:2	87.7	87.7	76.9	3.23
	5.2	6:4	80.8	90.1	72.8	3.79
		7:3	81.2	89.7	72.9	3.79
		8:2	81.7	89.3	72.9	3.79
Danyang garlics	4.2	6:4	81.1	86.6	70.2	2.95
		7:3	82.2	86.5	71.1	2.99
		8:2	83.3	86.4	72.0	3.02
	5.2	6:4	81.7	87.6	71.5	3.72
		7:3	83.6	87.9	73.4	3.82
		8:2	85.5	88.2	75.3	3.92

공급반전율은 원료 혼합비에 따른 큰 영향을 받지 않았으며 70~77% 정도였다. 그러나, 마늘 반전장치의 정확도는 마늘의 반전율에 의해 좌우됨으로 작업능률을 희생하더라도 이송 속도를 낮추어 작동시키는 것이 바람직할 것으로 사료된다.

작업능률은 이송속도에 비례하는데, 4.2개/초 및 5.2개/초의 이송속도에서 각각 2.95~3.23 개/초 및 3.72~3.92개/초의 범위로 나타났다. 이송속도가 4.2개/초일 때의 작업능률을 시간 당 처리중량으로 환산하면, 개체 중량을 5.5g일 때 58~64kg에 해당한다. 개발된 마늘 반전 장치는 인력에 의한 마늘의 선별능률이 40kg/hr 정도이므로 1조당 1.45~1.60명의 인력을 대체할 수 있을 것으로 사료된다.

개발된 벨트형 마늘 반전장치의 공급을 및 반전율을 높이기 위해서는 마늘을 공급용 호퍼에서 공급용 벨트로 투입하기 위한 투입장치의 개발이 중요하다. 아울러, 마늘을 등급별로 배출하기 위한 배출장치의 개발을 위한 지속적인 연구가 요청된다.

4. 요약 및 결론

마늘 가공공정에서 마늘의 품위판정 및 선별은 전적으로 인력에 의존하고 있기 때문에 많은 인력이 투입되고 과도한 인건비가 지출되고 있다. 이 연구에서는 마늘 박피기에 의해 배출된 마늘의 품위판정 및 선별을 위한 영상식 마늘 선별장치 개발에 관한 기초연구로서, 마늘 전체면에 대한 영상을 획득하기 위한 반전장치를 개발하고 성능을 분석하고자 하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 반전롤러와 다양한 형태의 반전장치를 제작하여 검토한 마늘의 반전현상에 대한 이해를 바탕으로 벨트형 마늘 반전장치를 설계, 제작하였다.
- 2) 마늘 2품종(남해마늘 및 단양마늘)의 박피마늘과 미박피마늘을 대상으로, 벨트형 마늘 반전장치의 공급벨트 경사각(65° , 70° 및 75°), 반전벨트 경사각(0° , 10° 및 20°), 공급벨트에 부착한 판열의 높이(18mm, 22mm) 및 이송속도(4.2개/초, 5.2개/초 및 6.4개/초)에 따른 반전특성을 측정, 분석하였다.
- 3) 반전벨트의 경사각이 0° 일 때는 반전이 잘 이루어지지 않았다. 반전벨트 경사각을 20° , 공급벨트의 판열 높이를 22mm 및 이송속도를 4.2개/초로 할 때, 시료 마늘에 대한 평균 반전율이 81.1%로 나타났다. 한편, 동일한 조건에서 마늘의 공급율은 공급벨트 경사각을 65° 로 할 때 85.0%이었다.
- 4) 박피마늘과 미박피마늘을 혼합한 원료의 혼합비를 3수준(8:2, 7:3 및 6:4)으로 하여, 가장 우수한 성능을 나타낸 반전벨트 경사각(20°), 공급벨트 경사각(65°), 공급벨트의 판열 높이(22mm)에서의 작업능률을 분석한 결과, 2.95~3.92개/초로 나타났다. 반전율을 감안하여 이송속도를 4.2개/초로 작동할 경우, 개발 마늘 반전장치의 1조당 처리중량은 약 58~64kg/hr으로 추정되었다.
- 5) 벨트형 마늘 반전장치의 공급율 및 반전율을 높이기 위해서는 마늘을 공급용 호퍼에서 공급용 벨트로 투입하기 위한 투입장치의 개발이 중요하며, 마늘을 등급별로 배출하기 위한 배출장치의 개발을 위한 지속적인 연구가 요청되었다.

5. 참고문헌

1. 김철진 외 9인. 1993. 마늘의 박피 시스템 개발에 관한 연구. 한국식품개발연구원. 1993
2. 박재복, 김종태. 1994. 마찰식 박피 마늘선별기 개발. 한국농업기계학회지 19(3) : 185-193.
3. 이상엽, 이종환, 배영환, 노상하. 1999a. 포토센서를 이용한 박피마늘 선별에 관한 연구. 한국농업기계학회, 99 동계 학술대회 논문집.
4. 이상엽, 이수희, 배영환, 노상하. 1999b. 기계시각을 이용한 박피마늘 선별 알고리즘 개발 (I) -베이즈 판별함수와 신경회로망에 의한 선별 정확도 비교-. 한국농업기계학회지 24(4):325-334.