

포토센서를 이용한 박피 마늘 선별에 관한 연구[†]

Study on sorting peeled garlic using photo-sensor

이 상 업* 이 중 환** 배 영 환*** 노 상 하*

 정회원 정회원 정회원

S. Y. Lee J. W. Lee Y. W. Bae S. H. Noh

1. 서 론

마늘은 고추, 양파와 함께 농가의 주요한 소득 작물이자 양념 소재로써 1996년도 기준으로 재배 면적 약 41,000 ha에 생산량이 약 450,000 M/T로 채소류 중 많은 부분을 차지하고 있다. 또한 1인당 연간 소비량은 7.2 kg으로 세계에서 가장 마늘을 많이 소비하는 나라로 알려지고 있다. 불과 2~3년전까지만해도 마늘의 유통은 통마늘 형태로 행해져 왔으나, 최근 소비자의 패턴 변화로 인해 박피 마늘의 유통이 급속히 확산되고 있으며 현재 전체 마늘 유통량 중 박피 마늘이 약 40%이상을 점유하고 있는 것으로 추정하고 있다. 그러나 마늘은 생산, 저장 중에 부패되거나 변질될 우려가 매우 높은 작물일 뿐만 아니라, 박피할 때 품종, 크기, 건조정도에 따라 박피 효율에 차이가 많기 때문에 완벽한 박피 가공을 기대할 수는 없다. 그러므로 마늘을 박피한 후의 상태는 건전 마늘, 흠집 마늘, 미박피 마늘, 부패 마늘, 변색 마늘 등이 혼합되어 있다. 현행 마늘가공공장에서는 전적으로 인력에 의한 수작업 또는 마찰식 선별기를 보조적으로 사용하고 있으나, 마찰식 선별기는 마찰계수의 차이를 이용하고 있으므로 박피된 마늘과 미박피된 마늘의 선별만 가능하고 변색, 부패 또는 흠집 마늘은 여전히 인력에 의해 선별되고 있는 실정이다. 이에 마늘가공공장에서의 선별 과정에 과다한 인건비가 투입되고 있을 뿐만 아니라 병목현상이 발생되어 마늘가공공장의 운영과 능률을 저하시키므로, 이러한 문제의 해결을 위한 박피 마늘 선별기의 개발이 절실히 요구되고 있다.

본 연구는 최근 농산물의 외관 상태를 신속하고 비파괴적으로 측정하는데 많이 이용되고 있는 광학적 방법을 이용한 박피 마늘 선별기를 개발하기 위하여 포토센서를 이용한 박피 마늘 선별 가능성을 구명하여 박피 마늘을 선별하는 기초자료를 제공하고자 한다.

* 서울대학교 생물자원공학부
 ** 한경대학교 생물자원기계학과
 *** 순천대학교 농업기계공학과

† 본 연구는 한국과학재단에서 지원한 농축산물 비파괴 품질 및 안전성 평가기술 연구센터의 연구비로 수행되었음

2. 재료 및 방법

가. 공시재료

본 연구에서는 전남 무안산 마늘을 시료로 사용하였다. 마늘은 박피상태와 외관상 손상 및 변색정도에 따라서 손상 및 변색정도가 거의 없는 건전 마늘, 일부 손상된 흠집 마늘, 박피상태가 불완전한 미박피 마늘, 일부가 변색된 변색 마늘, 일부 또는 전체가 부패된 부패 마늘로 구분하였다. 이때, 전체가 변색된 마늘은 부패 마늘로 분류하였다. 본 연구에서는 건전 마늘, 흠집 마늘, 미박피 마늘, 변색 마늘, 부패 마늘의 5 분류를 선별의 최종 목표로 설정하였다.

나. 실험장치

본 연구에서 사용한 실험장치는 그림 1에서 보는 바와 같이 센서부, 조명부, 신호획득부로 구성하였다. 센서부는 광원으로부터 조사되어 마늘의 표면에서 반사된 광을 집광하기 위한 집광렌즈와 광학적 신호를 전기적 신호로 변환하는 포토센서로 구성하였다. 이때, 집광렌즈로는 CCD 카메라용 줌렌즈를 사용하였고, 포토센서로는 R, G, B 를 대표하는 포토다이오드 3개를 사용하였으며 구체적인 제원은 표 1에서 보는 바와 같다. 조명부는 주광색 삼파장등 4개와 청색 삼파장등만으로는 400~500nm에서의 광량이 부족하여 청색 삼파장등 4개를 추가적으로 사용하였다. 신호획득부로 A/D 데이터 수집카드(AXIOM AX5411, Taiwan)를 사용하였고, 포토다이오드로부터의 전압 출력을 12 bit A/D 변환하여 획득하였다. 시료대는 시료와 배경과의 구분을 명확하게 하기 위해 검은색으로 하였으며 시료에서 렌즈위치까지의 높이는 7 cm였고 시료위치에서의 조도는 6,330 Lux였다.

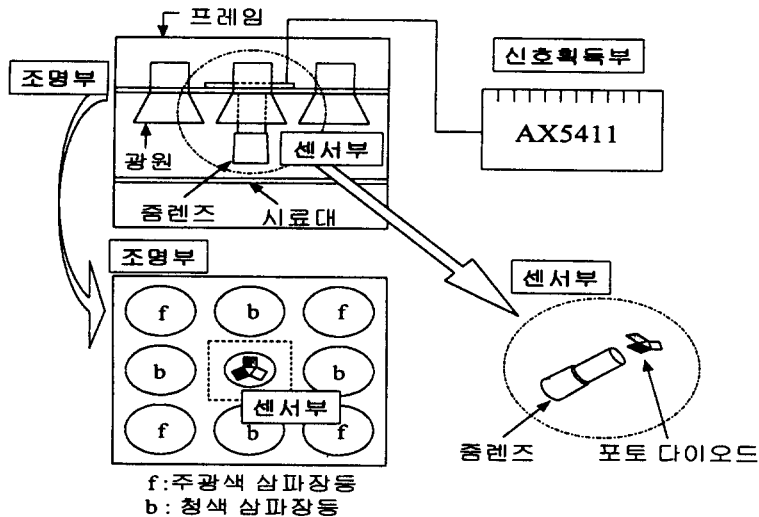


Fig. 1. Experimental apparatus.

명의 전원인 교류(AC) 60Hz의 파형을 나타내었다. 동일 위치의 동일 시료에 대해서 안정적인 신호를 얻는 방법으로 6개 파형, 즉 0.1초 동안 획득된 신호를 적분하는 방법을 사용하였다. 동일 배경에 대해 위와 같은 방법으로 5회 반복 측정된 결과, 획득된 신호는 86807, 86880, 86829, 86915, 86949로 나타나 안정적인 것으로 판단되었다.

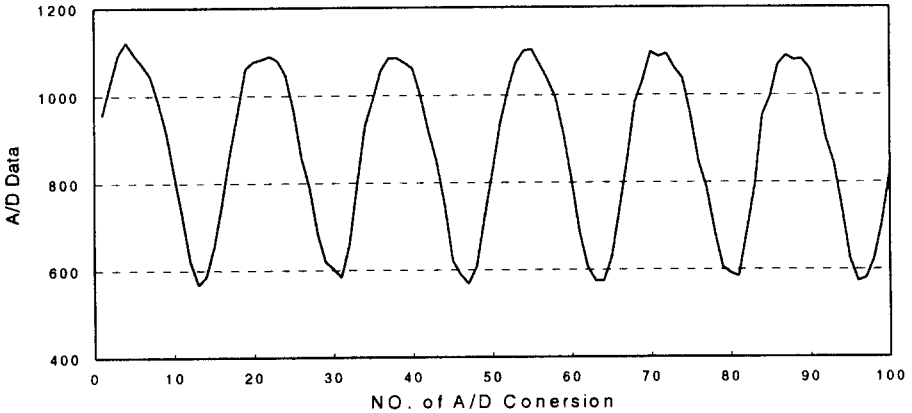


Fig. 2. A/D response characteristics of photo-diode on lamp.(trigger frequency : 1kHz)

나. 선별인자 선정 및 선별 가능성 구명

먼저 상기에서의 12가지 인자들에 대해 변수선택법을 수행한 결과, 다음 표 2에서 보는 바와 같이 나타났다.

Table 2. Significant factor for sorting garlic samples selected by statistical procedure.

Step	Parameter	Partial- R^2	F statistics	Probability > F	Wilk's lambda	ASCC*
1	B_{signal}	0.8990	289.198	0.0001	0.10106	0.2247
2	G_{signal}	0.4602	27.495	0.0001	0.05453	0.3303
3	$\frac{G_{signal}}{B_{signal}}$	0.3888	20.355	0.0001	0.03333	0.3547
4	$\frac{B_{signal}}{R_{signal} + G_{signal}}$	0.0674	2.293	0.0630	0.03109	0.3697
5	R_{signal}	0.4554	26.345	0.0001	0.01693	0.4473
6	g_{signal}	0.0947	3.267	0.0138	0.01533	0.4523
7	$\frac{B_{signal}}{R_{signal}}$	0.0700	2.333	0.0594	0.01425	0.4669

* ASCC : Average Squared Canonical Correlation

Table 1. Specification of photo-diode.

Manufacturer	Model	Peak Wavelength [nm]	Half-width of spectral sensitivity [nm]
SANYO	AM-31R-02	625	105
	AM-31G-02	520	65
	AM-31B-02	445	90

다. 실험방법

이(1998)는 기계시각을 이용한 박피 마늘 선별 알고리즘 개발에서 필터 선정을 위해 400~1100nm 범위에서의 분광반사특성을 분석하여 가장 적절한 선별파장으로 428nm라고 보고하였다. 위의 연구결과에 따르면 B-포토다이오드가 가장 우수한 선별정도(選別精度)를 보일 것으로 판단되나, 본 연구에서는 각 R, G, B-포토센서로부터 A/D 된 신호 R_{signal} , G_{signal} , B_{signal} 를 각각 획득하여 각 신호를 변환 및 조합함으로써 가장 우수한 선별을 나타내는 인자들을 찾고자 3개의 포토다이오드를 사용하였다. 획득한 신호

$$R_{signal}, G_{signal}, B_{signal} \text{ 를 } r_{signal} = \frac{R_{signal}}{(R_{signal} + G_{signal} + B_{signal})}, g_{signal} = \frac{G_{signal}}{(R_{signal} + G_{signal} + B_{signal})},$$

$$b_{signal} = \frac{B_{signal}}{(R_{signal} + G_{signal} + B_{signal})} \text{ 로 정규화하였고 또한, } \frac{R_{signal}}{G_{signal}}, \frac{G_{signal}}{B_{signal}}, \frac{B_{signal}}{R_{signal}},$$

$$\frac{R_{signal}}{(G_{signal} + B_{signal})}, \frac{G_{signal}}{(R_{signal} + B_{signal})}, \frac{B_{signal}}{(R_{signal} + G_{signal})} \text{ 로 각각 변환하였다. 위와 같은}$$

방법에 의해 얻어진 12가지 인자들로부터 선별에 유의한 인자를 통계패키지(SAS version 6.12, SAS Institute Inc.)의 변수선택법(STEPDISC)으로 선정한 후, 구체적으로 마늘을 선별 하는데 얼마만큼 유의한가를 분석하기 위하여 일반화된 거리제곱을 기초로 하는 판별분석절차(DISCRIM)를 수행하여 선별정도를 분석하였다. 단일 인자의 판별 분석 결과를 기초로 선정된 인자들로부터 선별을 개선에 기여하는 두 개 또는 세 개 인자를 선정한 후, 판별분석 절차를 수행하여 선별정도를 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 실험장치의 특성

본 연구에서와 같이 물체에 광원을 조사하고 물체로부터 반사된 광의 정보를 이용하여 품질을 판정하는 경우, 광원의 특성이 매우 중요하다. 본 연구에서는 220V/20W 주광색 삼파장 등 4개와 220V/15W 청색 삼파장등 4개를 사용하였다. 본 연구에서 사용한 광원 특성을 알아보기 위하여 조명을 켜고 센서 하단에 시료를 올려놓지 않은 상태에서 즉, 배경에 대한 포토센서 신호를 획득하였다. 0.1초 동안 획득된 신호는 그림 2에서 보는 바와 같이 조

상기에서 수행한 변수선택법에서 특정변수가 선택되는 순서는 반드시 그 변수가 가지는 상대적 중요성의 순서와 일치하지는 않는다. 따라서 마늘의 선별에 유의한 것으로 판별된 각 인자들에 대하여 구체적인 선별정도를 분석하기 위해 판별분석을 사용한 결과, 평균 선별정도는 상기의 순서대로 각각 65.2%, 65.9%, 46.7%, 44.4%, 51.9%, 32.6%, 48.8%로 모두 낮게 나타났다. 이는 흠집 마늘의 경우, 흠집 부위의 크기에 따라 선별정도가 좌우되고 미박피 마늘의 경우, 색이 일정하지 않기 때문에 선별에 어려움이 있는 것으로 판단된다. 따라서, 단일 인자만으로는 선별이 어렵다고 판단되므로 두 개의 인자를 사용하고자 변수선택법 수행결과를 기초로 B_{signal} , G_{signal} 를 선정하였다. 두 인자는 다른 인자들에 비해 선별정도가 높으며 B_{signal} 은 흠집 마늘과 미박피 마늘에 대해 선별정도가 낮은 반면 G_{signal} 은 변색 마늘에 대해 선별정도가 낮으므로 서로의 단점을 보완 가능할 것으로 판단되어 두 인자를 선정하였다. 두 인자로 판별분석을 수행한 결과 표 3에서 보는 바와 같이 건전 마늘과 흠집 마늘이 서로 혼합되며 미박피 마늘의 선별정도가 낮은 것으로 나타났다.

Table 3. Accuracy of sorting garlic when B_{signal} and G_{signal} were used as sorting factor.

Photosensor Manual	Sound	Defective	Un-peeled	Discolored	Rotten
Sound	76.67	20.00	3.33		
Defective	26.67	60.00	13.33		
Un-peeled	10.00	16.67	70.00	3.33	
Discolored		6.67	6.67	86.67	
Rotten					100.00

Average : 77.78%

B_{signal} , G_{signal} 인자를 사용한 경우의 결과가 만족스럽지 못하므로 R_{signal} 인자를 추가하여 판별분석을 수행한 결과 표 4에서 보는 바와 같이 여전히 건전 마늘과 흠집 마늘이 혼합되는 현상이 나타났다.

Table 4. Accuracy of sorting garlic when B_{signal} , G_{signal} and R_{signal} were used as sorting factor.

Photosensor Manual	Sound	Defective	Un-peeled	Discolored	Rotten
Sound	76.67	23.33			
Defective	26.67	63.33	10.00		
Un-peeled	6.67	16.67	73.33	3.33	
Discolored			6.67	93.33	
Rotten					100.00

Average : 80.00%

이상의 결과를 고려할 때, 본 연구에서 사용한 포토센서로는 흠집 마늘을 선별하기 어려운 것으로 판단된다. 이에 상품가치가 있는 건전 마늘과 흠집 마늘을 하나의 부류로 선별한다면, B_{signal}, G_{signal} 인자를 사용한 경우의 선별정도는 88.15%, $B_{signal}, G_{signal}, R_{signal}$ 인자를 사용한 경우의 선별정도는 91.11%로 나타났다. 따라서 포토센서를 이용할 경우 건전·흠집 마늘 1부류, 미박피 마늘 1부류, 변색·부패 마늘 1부류로 선별 가능할 것으로 판단된다. 그러나, 여전히 미박피 마늘에 대한 선별율은 약 70%정도로 매우 낮게 나타나 이에 대한 보완 연구가 필요할 것으로 사료된다.

4. 요약 및 결론

본 연구는 박피 마늘을 선별하는데 있어서 포토센서의 이용 가능성을 구명하고자 수행되었다. 교류전원을 사용하는 조명장치에서의 포토센서를 이용하기 위한 방법을 찾았으며, 획득한 신호로부터 변환식을 적용하여 12가지의 인자를 추출하였고 이중 유의 선별인자를 선정하기 위해 변수선택법을 수행하였다. 선정된 선별인자를 기초로 선별정도를 높이기 위해 선별인자의 조합을 사용하여 선별 가능성을 구명하고자 하였다. 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

가. 교류전원을 사용하는 조명장치에서의 포토센서 신호를 안정적으로 획득하기 위해서 일정 시간동안 획득한 신호를 적분하는 방법을 사용하여 획득하였다.

나. 유의 선별인자를 선정하기 위해 변수선택법을 수행한 결과, B-포토다이오드(SANYO AM-31B-02, Japan)의 신호가 가장 적합한 것으로 나타났다.

다. $B_{signal}, G_{signal}, R_{signal}$ 인자를 사용하여 건전, 흠집, 미박피, 변색, 부패로 선별하는 경우, 선별정도가 80.0%로 낮게 나타났으며 건전 마늘과 흠집 마늘이 혼합되는 현상을 보였다.

라. $B_{signal}, G_{signal}, R_{signal}$ 인자를 사용하여 건전 및 흠집 마늘 1부류, 미박피 마늘 1부류, 변색 및 부패 마늘 1부류로 선별하는 경우, 선별정도가 91.1%로 나타났으나 미박피 마늘의 선별정도가 73.3%로 낮게 나타났다.

마. 포토센서를 이용하여 박피 마늘을 선별할 경우 건전 마늘과 흠집 마늘간의 선별은 어려운 것으로 판단되며, 특히 실용화를 위해서는 미박피 마늘의 선별정도를 높이기 위한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

5. 참고문헌

- (1) 김기영, 전명식 共著. 1994. SAS 판별 및 분류 분석. 自由아카데미.
- (2) 김철진 외. 1993. 마늘의 박피시스템 개발에 관한 연구. 연구보고서. 한국식품개발원.
- (3) 이상엽. 1998. 기계시각을 이용한 박피 마늘 선별 알고리즘 개발. 서울대학교 석사학위논문.
- (4) 편집부 驛. 1992. 아날로그 IC활용 핸드북. 도서출판 세운.