한국농업기계학회지 제24권 제3호. pp. 225~234. 1999

수확기 통마늘의 물리적 및 형상적 특성에 기초한 마늘 품질 분석†

- 마늘 등급판정을 위한 판별 알고리즘 -

The Analysis of Garlic Quality Based on Physical and Morphological Properties of a Whole Bulb of Garlic at the Harvesting Season

- Discrimination Algorithms for Garlic Quality Grading -

박 준 걸* 장 영 창** 노 광 모* 이 충 호***
정회원 정회원 정회원 정회원
J. G. Park Y. C. Chang K. M. Noh C. H. Lee

ABSTRACT

This study was performed as a basic research for establishing an objective quality evaluation method on whole bulbs of garlic. The size of a whole bulb of garlic, the number and the uniformity of complete individual garlics, and the existence of bad individual garlics in the whole bulb of garlic were selected as quality grading factors. Quality discrimination algorithms with machine vision techniques were developed and verified for the four factors based on morphological and physical features of whole bulbs of garlic. Based on the results, the size discrimination by the projected area of a whole bulbs of garlic suggested four grading levels and the algorithm for predicting the number of complete individual garlics based on the peaks on its projected boundary showed ± 0.78 prediction error. In addition, the uniformity represented by coefficient of variation could be divided into four levels, but the algorithm for discriminating the existence of bad individual garlics in a whole bulb of garlic was not effective.

주요용어(Key Words): Computer vision(기계시각), Whole bulb of garlic(통마늘), Quality discrimination(품질판별)

1. 서 론

현재 국내외에서 마늘유통은 대부분 통마늘 단위로 이루어지며 우리 나라의 경우 우량, 고품질 마늘의 생산이 장려되고 있다. 그러나 마늘 품질판정은 매우 주관적이고 생산자의 경험에 의존하여 각 품질간 차이도 매우 불규칙하며 같은 품질 내에서도 그 변이는 매우 크다.

† 본 연구는 건국대학교 학술진흥연구비 지원에 의해 수행되었음.

* 건국대학교 생물산업기계공학과
** 서울대학교 농업개발연구소
*** 성균관대학교 생물기전공학과

특히 통마늘을 기준할 때 마늘의 크기와 더불어 내부 쪽마늘 수와 크기 균일도, 부패여부 등은 마늘 품질판정의 중요한 인자임에도 불구하고 마늘 품질 판정에는 고려되지 않고 있다. 마늘 품질판정의 신뢰성과 아울러 상품가치의 제고를 위하여 보다 객관적인 마늘의 품질판정 기술이 필요한 실정이다.

최근 농산물 품질 판정에 활발히 응용되고 있는 기계시각은 비파괴 검사기술의 일종으로 기계시각 시스템에 레이저, 근적외선을 결합하는 것과 같이 매우 다양한 형태로 이루어지고 있다.

서상룡 등(1997)은 기계시각장치를 이용하여 사과의 결점을 검출하고자 사과 표면의 타박상, 부패, 반점, 벌레구멍 및 긁힘 정도를 대상으로 기하학적 특징과 광학적 특징을 조사하였다. 조용진(1997)은 세포의 표면 특성을 이용하여 사과의 신선도를 평가하였으며 세포의 표면특성을 정량화하는 영상분석기법을 개발하였다.

노상하 등(1998)은 대두의 외부품질판정을 위하여 대두의 분광반사 스펙트럼을 조사하고 선별에 유용한 판별인자를 제시하였다. Zayas 등(1989)은 밀과 이물질을 인식, 선별하기 위해 영상처리장치를 이용하여 곡립의 면적, 둘레길이 등 기하학적 특성인자들을 구하고 통계적 방법으로 판별분석을 수행하였다.

과실 및 채소류의 비파괴적 품질 판정에 관하여 Dull 등(1992)은 멜론의 가용성 고형분 함량을 측정하기 위해 근적외선에 기초한 반사분광분석법을 적용하였다. Kawano 등(1992)은 복숭아의 품질에 중요한 요인으로 당도를 측정하는 비파괴 당도 측정기의 개발을 위해 접촉식 광파이버를 이용한 근적외선 분광분석법의 적용 가능성을 검토하였다. 또한 박준걸 등(1998)은 마늘 품질 판정의 기초자료를 얻기 위하여 통마늘의 함수율과 무게, 쪽마늘의 수 등 물리적 특성과 통마늘의 투사직경, 원주길이, 장/단축길이 등 형상적 특성을 분석하였다. 노광모 등(1999)은 통마늘 유통을 기준하여 마늘의 품질 판정은 통마늘의 물리적, 형상학적 특성을 바탕으로 이루어지는 것이 바람직하다고 제시하였다.

따라서 본 연구에서는 통마늘의 품질 판정기준을 객관화하기 위하여 기계시각시스템과 수확기 통마늘의 물리적 및 형상적 특성을 바탕으로 마늘 등급판정의 주요 인자를 선정하고, 등급판정에 앞서 비파괴적으로 각 인자에 대한 정도를 판별하는 알고리즘을 개발하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

가. 통마늘 등급 판정 인자

박준걸 등(1998)은 재래식 마늘유통 시장에서 통용되는 마늘의 품질분류법에 기초하여 최상품 통마늘은 그림 1-[a]에서와 같이 6쪽 마늘이고 크며, 내부 쪽마늘은 중심에 대하여 내부각 60°를 차지하면서 크기가 균일하며 쭉정이(불완전 쪽마늘)를 포함하지 않고, 썩거나 상한 마늘이 없으면서 단단하여 보관성이 좋은 마늘로써 규정하였다. 그림 1-[b]는 6쪽 마늘과 유사하나 내부에 쭉정이 2개가 포함된 예를 보여주며 그에 따라 통마늘의 원주가 [a]에 비해 약간 변형된 경우를 나타낸다.

그들의 연구 결과에 따르면 통마늘의 크기와 무게는 투사면적과 매우 높은 상관관계를 갖고 있는 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에서는 최상품 통마늘에 대한 정의에 기초하여 통마늘의 크기와 무게의 판별인자로써 투사면적을 선정하였다. 또한 쭉정이를 제외한 쪽마늘의 수, 쪽마늘의 균일도, 미숙 및 상한 쪽마늘의 포함여부 등, 총 4가지 인자를 통마늘 등급판정의 기준인자로 선정하였다.

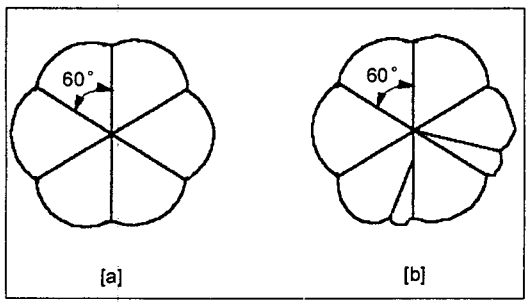

Fig. 1 Examples of a high [a] and a normal [b] quality whole bulb of garlic.

나. 실험장치 및 방법

본 연구에 사용된 기계시각장치는 2M 메모리의 컬러 프레임 그래버(TCX, Oculus)를 장착하고 있으며 G프레임을 영상처리에 이용하였다. 주컴퓨터는 IBM PC 호환형 컴퓨터(Pentium 100MHz)였으며 영상획득을 위하여 흑백 CCD 카메라(TM-7CN, PULNIX)를 이용하였고 영상출력부로 15″ 컬러 모니터를 사용하였다. 조명은 백색 형광등을 사면에서 발생시키고 각광은 백색의 반사판을 거쳐 물체를 조명하는 간접반사법으로 하였으며, 통마늘 영상과 대비하여 영상배경은 어둡게 조정하였다. 영상 내에서 통마늘이 차지하는 면적은 분석 정밀도를 향상시키고 영상처리시간을 줄이기 위해 약 1/4로 조절하였다. 그림 2는 구성된 기계시각장치를 보여주고 있다.

실험재료는 재래시장에서 시판되고 있는 수확 직후의 마늘 중에서 임의로 경북 의성마늘, 전남 고흥마늘, 경남 창녕마늘 등 3가지 마늘을 선택하였다. 알고리즘 검증을 위한 마늘의 개수는 각 품종 100개

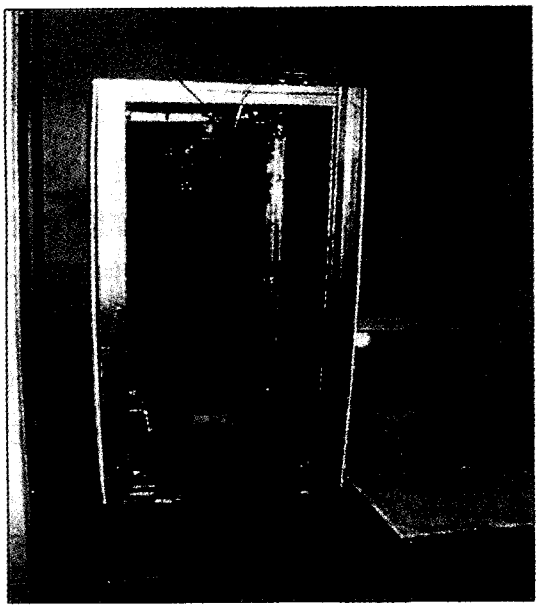

Fig. 2 The machine vision system for measuring morphological features of a whole bulb of garlic.

중에서 임의로 30개씩을 선정하였으나 전남 고흥마늘의 경우 통마늘의 상태가 불량하여 실험시료로서 14개만을 취하였다. 각 마늘에 대해 알고리즘 검증용 외에 10개의 시료를 임의로 선택하고 105℃, 24시간 건조의 공기오븐법에 의하여 평균 습량기준 함수율을 구하였으며 통마늘 및 쪽마늘 무게측정에 참고하였다.

실험시료는 영상의 중심부에 위치하도록 하여 통마늘의 하부영상을 획득하고 형상특성을 추출하였다. 또한 각 통마늘에 대해 통마늘무게, 내부 쪽마늘수, 쭉정이 수, 썩거나 상한 마늘의 수, 최대 쪽마늘과 최소 쪽마늘의 무게를 실측하여 알고리즘의 성능을 검증하였다. 쭉정이의 기준은 주관적이어서 3인 이상이 쭉정이라고 판단할 때를 기준으로 구별하였다.

다. 등급 판정을 위한 판별 알고리즘

본 연구에서 개발된 통마늘의 등급 판정을 위한 판별 알고리즘은 다음과 같다.

(1) 각 통마늘의 무게는 0.1g의 분해능을 갖는 전자저울로 측정한다.

(2) 난반사 백색조명을 통하여 그림자 없는 통마늘의 영상을 획득한 후 영상을 이진화한다. 이진화를 위한 문턱값은 조명의 변화에 능동적으로 적응할 수 있는 자동 문턱값 설정 알고리즘에 기초한다.

(3) 통마늘 이치화 영상의 잡음을 없애기 위해 수학적 형태학의 기법인 클로징(closing)을 수행한다.

(4) 통마늘 영상으로부터 투사면적, 원주길이, 면적중심을 구한다.

(5) 체인코드를 이용하여 면적중심에 대한 원주좌표를 1차원 배열로 추출한다.

(6) 원주좌표 1차원 배열이 포함하는 고주파 잡음을 없애기 위해 저역 필터링을 수행하고 원주좌표를 재구성한다.

(7) 원주상의 산/골수를 추출하고 통마늘 내부의 쪽마늘 수를 추정한다. 그림 1로부터 원주 위에서 하나의 산/골은 하나의 쪽마늘에 대응하는 것으로 가정한다.

(8) 원주상의 각 산의 길이(골과 골 사이의 길이)를 추출하고 산의 길이들로부터 내부 쪽마늘의 크기 균등도를 추정한다.

(9) 추출된 투사면적과 통마늘 무게와의 관계를 분석하여 쪽마늘이 썩거나 상한정도를 추정한다. 투사면적의 크기에 대해 무게가 가벼우면 썩거나 미숙 쪽마늘을 포함하는 것으로 가정한다. 또한 무게가 무거우면 함수율이 너무 높거나 혹은 단단한 마늘로 추정한다(박준걸 등, 1998).

(10) 분석 결과를 토대로 통마늘 무게와 크기, 쪽마늘 수, 크기 균등도 및 상한 정도 등 판별정보를 등급 판정의 정보로 제시한다.

라. 판별 알고리즘의 구현

통마늘의 투사면적, 원주길이, 면적중심에 대한 원주좌표는 화소단위로 구하였으며 각 값은 통마늘의 형상특성에 대한 상대치를 나타낸다.

원주상의 산/골수를 검출하기 위해 먼저 면적중심에 대한 원주좌표를 1차 신호로 간주하고 DFT (discrete fourier transform)을 구한 후 각 통마늘 고유의 차단주파수(cut off frequency)를 이용하여 저역 필터링을 수행하였다. 필터 처리된 1차 신호는 역 DFT를 통하여 면적중심에 대한 원주좌표의 1차 신호로 재구성되고 그 신호의 2차 미분으로부터 산/골수를 구하였다.

통마늘 고유의 차단주파수는 각각의 통마늘에 대해 결정하였으며 통마늘 전체무게에 대한 쭉정이 무게의 비로 구하였다. 이것은 원주 상에서 하나의 산이 하나의 쪽마늘에 대응할 때 (그림 1-a의 6쪽 마늘 원주에서 산/골의 주파수는 6Hz임을 주목하라), 전체 원주길이에 대한 쭉정이가 차지하는 원주길이의 비는 무게, 면적, 원주길이의 높은 상관관계에 기인하여 통마늘 무게에 대한 쭉정이 무게와 같다는데 근거하였다. 본 연구에서는 쭉정이의 최대 무게를 1.2g으로 하였다(박준걸 등, 1998). 따라서 고유 차단주파수보다 높은 주파수(최대 쭉정이보다 원주길이가 적은 쪽마늘)는 영상잡음이거나 보다 작은 쭉정이를 의미하며 쪽마늘 수에 포함될 수 없다.

쪽마늘 크기 균등도의 판별알고리즘 개발을 위한 예비실험으로써 쪽마늘의 무게와 쪽마늘 등근 부분의 최대 길이와의 관계를 분석하였다. 그 결과에 따르면 쪽마늘 등근부분의 길이(통마늘 원주방향의 길이)는 쪽마늘 무게와 매우 직선적인 관계로 나타나 균등도 판별알고리즘은 통마늘 영상으로부터 각 쪽마늘의 등근부분의 길이를 추출하는 것으로 구현하였다. 내부 쪽마늘 크기의 균등도 지표(index)로서 역 DFT에 의해 재처리된 원주좌표의 1차 신호로부터 각 산의 길이를 구하고 산의 길이에 대한 변이계수(CV, %: coefficient of variation = 표준편차/평균 ×100)를 구하였다.

통마늘의 썩거나 상한정도를 검출하기 위해, 쭉정이와 상한 쪽마늘이 없는 통마늘에 대한 투사면적과 무게의 상관관계를 구하고 그 관계식으로부터 검증용 통마늘의 무게를 추정하였으며 해당마늘의 실측무게와 비교하여 통마늘의 상한 정도를 판별하였다.

본 연구에서는 볼랜드 C++5.0 프로그램으로 통마늘 형상인자 추출과 각 인자에 대한 판별 알고리즘을 구현하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 형상특성 추출 및 크기 판별

그림 3은 통마늘의 형상특성을 구하는데 사용된 통마늘의 하부영상으로 통마늘의 원주는 영상배경에 대해 매우 명확하게 나타남을 알 수 있다. 그림 4는 영상을 이치화한 후, 원주 추출알고리즘을 통해 구한 마늘의 원주를 보여주고 있으며 내부의 + 점은 통마늘 투사면적의 중심을 나타낸다.

그림 5는 투사면적과 무게의 관계를 보여주며 투사면적은 무게와 매우 직선적($R^2 = 0.9804$)으로 연관되었다. 통마늘의 함수율은 무게 측정에 영향을 미치나 세 종류 마늘에 대해 습량기준 함수율은 평균 52%, 표준 편차는 2.5%로 비교적 고르게 나타나 무게와 투사면적의 관계를 분석하는데 함수율의 영향은 고려하지 않았다.

그림에서 보는 바와 같이 투사면적과 무게의 직선

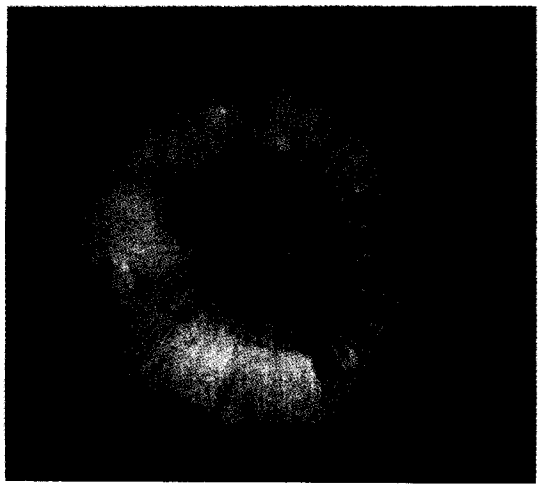

Fig. 3 A bottom image of a whole bulb of garlic acquired by the machine vision system.

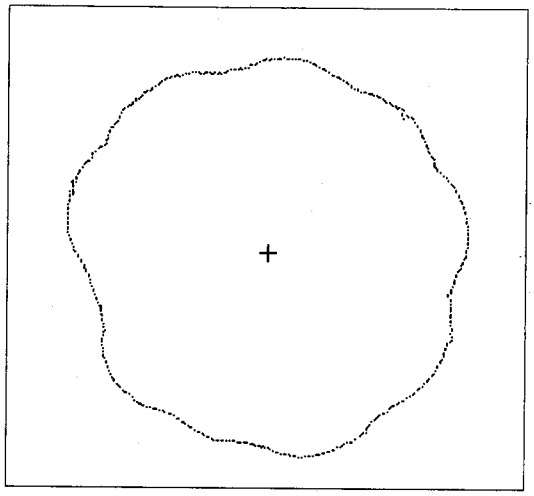

Fig. 4 The extraction of the boundary of a whole bulb of garlic.

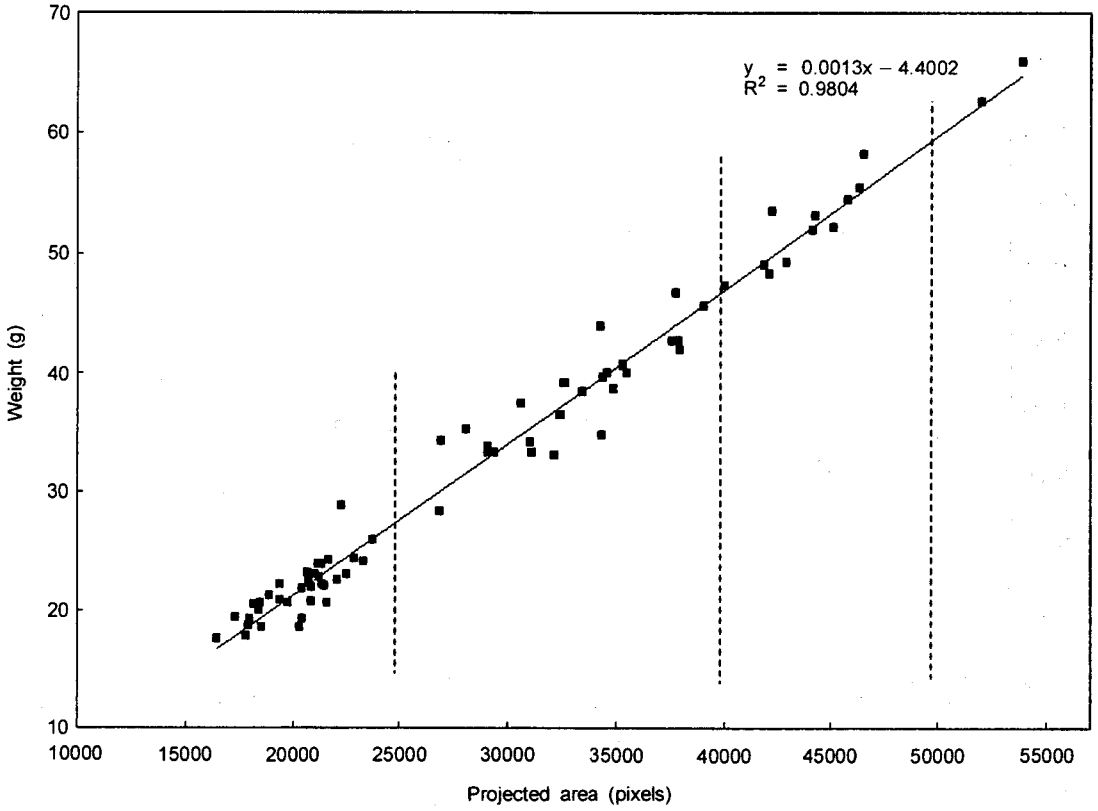

Fig. 5 Size discrimination based on the projected area and the weight of a whole bulb of garlic.

적 관계를 바탕으로 통마늘의 크기와 무게의 등급은 통마늘의 투사면적을 이용함으로써 판별할 수 있을 것으로 판단되었다. 본 연구에서 사용된 통마늘을 기준으로 대략 4등급(2.5×10^4 화소 이하 : 소형, $2.5\sim4.0\times10^4$ 화소 : 중형, $4.0\sim5.0\times10^4$ 화소 : 중대형, 5.0×10^4 화소 이상 : 대형)으로 구분이 가능하며, 대략 경북 의성마늘은 소형, 전남 고흥마늘은 중형, 경남 창녕마늘은 중대형으로 품종에 따라 분류될 수 있다. 그러나 고흥마늘은 중형과 중대형, 창녕마늘은 중형부터 대형에 이르기까지 넓게 분포되어 크기 분류가 정확하지 않음을 보였다.

나. 쪽마늘 수 판별

그림 6은 통마늘 영상의 면적중심에서 원주까지의 거리를 1차원 배열로 표시한 예를 보여 주고 있다. 가로축은 원주상 임의의 한 점으로부터 반시계 방향의 순서를 보여주며 세로축은 중심까지의 거리를 나타낸다. 또한 점선은 고주파 잡음을 포함하는 원래의 원주 배열을 보여주고 있으며 실선은 저역 필터링을 거친 후 재배치된 원주 배열을 나타낸다. 그림에서 실선은 저역 필터링의 효과를 보여주기 위해 이동시켜 나타낸 것이다. 저역 필터링을 거친 원주의 배열은 고유의 산/골 특성이 명확해졌음을 알 수 있다.

표 1은 쪽마늘 수 판별 알고리즘에 의한 예측값과 측정값을 비교한 결과를 보여주고 있으며 부호는 예측값이 측정값에 대해 많고 적음을 나타낸다. 총 74개의 시료에 대해 예측오차는 RMS(root mean square)를 기준으로 평균 ±0.78개, 표준편차 ±0.9개로 나타났다.

표에서 보는 바와 같이 쪽마늘 수 판별 알고리즘의 예측오차는 ±1 이내 82%, ±2 이내 97%로서 매우 정확함을 알 수 있다. 그러나 두 마늘에 대해 ±3개

Fig. 6 One dimensional arrangement of the distances between the geometric center and the boundary points of a whole bulb of garlic.

Table 1 Prediction errors on the number of individual garlic in whole bulbs of garlic

Prediction error / Place of cultivation	0	±1	±2	±3 and more	Number of garlics	RMS Average (STD)
Changnyoung	11	12	6	1	30	0.97 (1.07)
Goheung	6	5	2	1	14	0.86 (0.95)
Ueisung	16	11	3	0	30	0.57 (0.68)
Total number	33	28	11	2	74	0.78 (0.91)

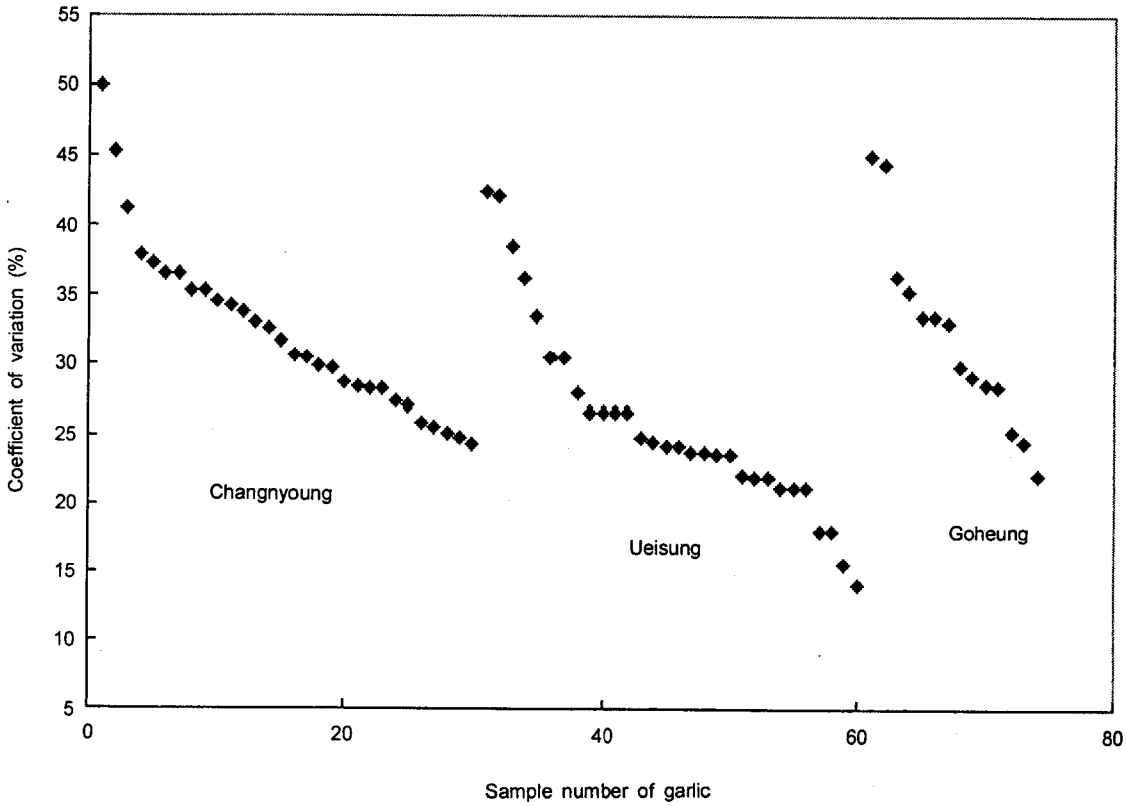

Fig. 7 Size uniformity of individual garlics in whole bulbs of garlic.

이상의 예측오차가 나타났는데 이 경우는 상대적으로 통마늘 영상이 불량한 것으로 관찰되어 영상획득에 주의를 기울일 경우 쪽마늘 수의 예측 정확도는 보다 높아질 것으로 생각된다. 또한 종류별로 보면 비교적 쭉정이를 많이 포함하는 창녕마늘에서 예측오차가 크게 나타나지만 크기가 다른 두 마늘에 대해 그 경향이 유사하여 쪽마늘 수 판별알고리즘은 마늘 종류에 관계없이 잘 적용될 수 있을 것으로 판단되었다.

다. 쪽마늘 균등도 판별

그림 7은 균등도 판별 알고리즘에 의해 구해진 쪽마늘의 크기 균등도를 보여준다. 세로축은 균등도의

지표로써 변이계수를 보여주며 그 값이 작을수록 균일함을 의미한다. 그림에서 가로축은 통마늘의 일련번호를 나타내며 첫 그룹은 창녕마늘, 둘째 그룹은 의성마늘, 마지막 그룹은 고흥마늘을 보여주고 있다.

균등도는 쪽마늘 수 판별 알고리즘으로 구한 쪽마늘 수를 기준으로 구하기 때문에 쭉정이는 균등도 산출에 포함되지 않는다. 예측 쪽마늘 수가 정확하지 못할 때 변이계수는 다소 오차를 갖게 되나 균등도를 몇 등급으로 구분한다는 측면에서 그 영향은 크지 않을 것으로 판단되었다.

그림에서 보는 바와 같이, 같은 등급으로 유통되는 통마늘의 내부 쪽마늘 균등도는 세 마늘 모두 넓게 분포되어 마늘 등급에 쪽마늘의 균등도는 고려되지 않고 있음을 알 수 있다. 변이계수의 평균(표준편차)은 창녕마늘 32.4%(6.09%), 고흥마늘 32.1%(6.77%), 의성마늘 25.9%(7.03%)로 나타나 의성마늘이 쪽마늘의 크기는 작으나 비교적 크기가 균등하다는 관찰결과와 잘 일치하였다. 특히 세 마늘의 변이계수는 14%~50%까지 분포되었으며 균등도 판별알고리즘을 이용하여 쪽마늘의 균등도는 변이계수 20% 이하, 20%~30%, 30%~40%, 50% 이상의 네 등급으로 구분하는 것이 가능할 것으로 판단된다.

라. 미숙 및 상한 쪽마늘 포함여부 판별

그림 8은 미숙 및 상한 쪽마늘을 포함하지 않은 실험마늘 40개에 대한 통마늘 투사면적과 무게의 관계를 보여주고 있다. 그림에서 직선회귀는 투사면적에 대한 통마늘의 예측무게이며 실측무게의 표준오

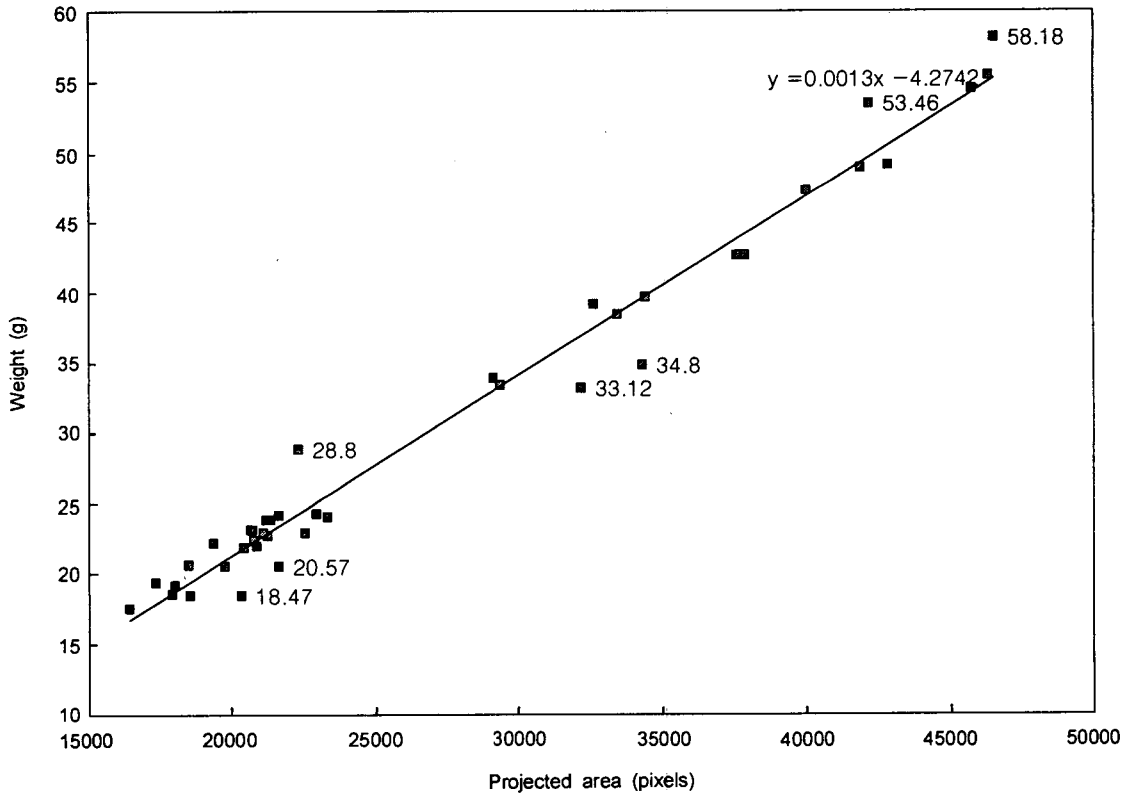

Fig. 8 Impaired individual garlic discrimination in whole bulbs of garlic based on their predicted and actual weights.

차는 1.83g으로 나타났다. 그림에 표시된 무게는 무게 예측에 쓰여진 시료 중에서 표준오차를 벗어난 7개 통마늘의 실측무게이다.

검증용 34개 통마늘에 대해 표준오차를 기준으로 예측무게와 실측무게의 차이를 비교하여 상한 마늘의 포함여부를 구분하였다. 그러나 상한 여부를 정확하게 판별할 수 있는 경우는 단지 상한 정도가 높은 9개로서 그 판별도가 매우 낮았다. 이러한 원인은 각 통마늘의 실제 함수율이 임의 표본으로 구한 평균 함수율과 다를 수 있지만, 상한 쪽마늘의 포함여부를 판별할 때 함수율에 따른 무게 보정이 수행되지 않음으로써 실측값에 오차가 포함되어 이에 예측값과의 작은 차이를 구분하지 못하기 때문인 것으로 생각되었다. 따라서 판별정도를 높이기 위해서는 통마늘의 함수율을 각각 측정하고 무게 보정 알고리즘을 추가하는 것이 바람직할 것으로 판단되었다.

본 연구에서 개발된 4가지의 판별 알고리즘의 실행속도는 CPU-100MHz, 윈도우즈 환경에서 0.5초 이하였다. 이를 기준할 때 판별 알고리즘의 판별용량은 시간당 7,200개(72접) 정도로써 판별 알고리즘은 온라인 마늘등급 판정기에 충분히 적용될 수 있을 것으로 판단되었다.

4. 요약 및 결론

현재 국내외에서 마늘유통은 통마늘 단위로 이루어지며 품질 판정은 주관적이고 생산자의 경험에 의존한다. 통마늘을 기준으로 마늘의 크기, 내부 쪽마늘 수와 크기 균일도, 부패여부 등은 마늘 품질판정의 중요한 인자이다. 따라서 본 연구에서는 통마늘의 품질 판정기준을 객관화하기 위하여 기계시각시스템과 수확기 통마늘의 물리적 및 형상적 특성을 바탕으로 품질판정 인자에 대한 판별 알고리즘을 개발하고자 하였으며 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 통마늘 크기 판별 알고리즘은 투사면적과 무게의 직선적 관계를 바탕으로 통마늘의 투사면적을 이용함으로써 통마늘 크기를 분류하며 대략 4등급(소형, 중형, 중대형, 대형)으로 구분이 가능하였다.

(2) 쪽마늘 수 판별 알고리즘은 통마늘 원주의 산/골을 기준으로 쭉정이를 제외한 쪽마늘 수를 추정하며 예측오차는 RMS 평균 ±0.78개, 표준편차 ±0.9개로 나타났다. 또한 예측오차는 ±1 이내에서 82%, ±2 이내에서 97%로 매우 정확하였고, 판별 알고리즘은 마늘 종류에 관계없이 적용될 수 있었다.

(3) 쪽마늘 균등도 판별 알고리즘은 통마늘 원주의 산의 길이(골과 골 사이)에 대한 변이계수로 균등도를 추정하며, 균등도 분석결과 변이계수는 14%~50%까지 분포되었으며 균등도 판별 알고리즘을 이용하여 쪽마늘의 균등도를 구분하는 것이 가능하였다.

(4) 미숙 및 상한 쪽마늘 포함여부 판별 알고리즘은 투사면적에 대한 예측무게와 실측무게의 차이로 추정하며, 상한 정도가 높은 마늘에 대해 판별 알고리즘을 적용할 수 있었다.

(5) 본 연구에서 개발된 4가지의 판별 알고리즘의 실행속도는 CPU-100MHz, 윈도우즈 환경에서 0.5초 이하, 판별 용량은 시간당 7,200개(72접) 정도로써 온라인 마늘 등급판정기에 적용될 수 있을 것으로 판단되었다.

참 고 문 헌

1. 노광모, 장영창, 박준걸. 1999. 마늘 수확기 개발을 위한 기초 연구(1) – 수확기 생육 마늘의 물성 –. 한국농업기계학회지 24(1):1-8.
2. 노상하, 김현룡, 황인근. 1998. 대두의 광학적 선별장치 개발을 위한 선별 인자 구명. 한국농업기계학회지 23(4):343-350.
3. 박준걸, 노광모, 장영창. 1998. 통마늘의 물리적 및 형상적 특성에 기초한 마늘 품질 분석. 건국자연과학연구지 9(2):255-262.
4. 서상룡, 성제훈. 1997. 컴퓨터 시각에 의한 사과 결점 검출. 한국농업기계학회지 22(2):217-226.
5. Dull, G. G., R. G. Leffler, G. S. Birth and D. A.

Smittle. 1992. Instrument for nondestructive measurement of soluble solids in honeydew melons. Transactions of the ASAE 35(2):735-737.

6. Kawano, S., H. Watanabe and M. Iwamoto. 1992. Determination of sugar content in intact peaches by near infrared spectroscopy with fiber optics in interactance mode. J. Jpn. Soc. Hort. Sci. 61(2):445-451.
7. Zayas, I., Y. Pomeranz and F. S. Lai. 1989. Discrimination of wheat and nonwheat components in grain samples by image analysis. Cereal Chemistry 66(3):233-237.