

인삼선별의 자동화를 위한 컴퓨터 시각장치*
- 등급 자동판정을 위한 영상처리 알고리즘 개발 -

Computer Vision System for Automatic Grading of Ginseng
- Development of Image Processing Algorithms -

김 철 수* 이 중 응*
정회원 정회원
C. S. Kim J. Y. Rhee

ABSTRACT

Manual grading and sorting of red-ginsengs are inherently unreliable due to its subjective nature. A computerized technique based on optical and geometrical characteristics was studied for the objective quality evaluation. Spectral reflectance of three categories of red-ginsengs — "Chunsam", "Chisam", "Yangsam" — were measured and analyzed. Variation of reflectance among parts of a single ginseng was more significant than variation among the quality categories of ginsengs. A PC-based image processing algorithm was developed to extract geometrical features such as length and thickness of body, length and number of roots, position of head and branch point, etc. The algorithm consisted of image segmentation, calculation of Euclidean distance, skeletonization and feature extraction. Performance of the algorithm was evaluated using sample ginseng images and found to be mostly successful.

주요용어 (Key Words): 분광반사특성(Spectral Reflectance), 영상처리 (Image Processing), 유클리드 거리도표 (Euclidean Distance Map), 형상 추출 (Feature Extraction), 컴퓨터 시각 (Computer Vision)

1. 서 론

인삼제품 중 원형을 유지하는 제품으로는 백삼, 태극삼, 홍삼 등이 있다. 홍삼은 수삼을 수증기로 찌서 말린 고유한 향취를 지닌 담황갈색의 인삼제품으로서 백삼에 비하여 부가가치가 훨씬 높다. 최근 국가전매사업 대상이었던 홍삼의 조제·가공이 일반에게도 허가됨으로써 홍삼 생산량이 급증할 전망

이다. 생산량 급증으로 인한 홍삼의 품질 저하를 방지하기 위해서는 등급을 보다 세분화하고 객관적이고 일관성 있는 기준을 확립하여야 하며 홍삼 조제 가공 공정에서의 철저한 품질관리가 필요하다.

홍삼은 뇌두의 크기와 견실도, 주근 및 지근의 크기와 길이, 표피의 색택과 병해충에 의한 손상 여부 등 외관상태에 따라 1차적으로 천삼·지삼·양삼 등으로 등급 판정이 이뤄지는데, 현재 품질평가는

* 이 논문은 1992年度 敎育部 學術研究組成費에 의하여 研究되었음

* 전북대학교 농과대학 농업기계공학과

전문가의 오관에 의한 관능검사방법으로 실시하고 있다. 그러나, 인간의 눈은 쉽게 피로해지고, 색상의 미세한 차이를 감지하는 능력이 부족할 뿐만 아니라 개인 별로 편차가 있기 때문에 제품의 등급을 판정하는데 객관성을 유지하기가 힘든 단점을 가지고 있다. 특히 홍삼의 등급판정에 큰 영향을 미치는 외부 색택 검사기준이 담적갈색 · 담황갈색 · 다갈색 · 농다갈색 등과 같이 정성적으로 표현되어 있어 판정의 객관성을 확보하는데 어려움이 많다. 따라서 보다 객관적이고 일관성 있는 등급판정을 위한 검사방법의 개발이 시급하다.

객관적이고 일관성 있는 비파괴 품질평가를 위해서 농산물의 광학적 특성 및 기하학적 특성을 추출하는 것이 필요하다. 이러한 방법으로 분광반사특성을 이용하는 방법, 3 자극치를 이용하는 방법, 영상정보를 이용하는 방법 등이 있다.

첫 번째 방법은 분광광도계를 이용하여 특정파장에서 농산물의 반사특성, 두 개의 서로 다른 파장에서 반사특성의 차이 또는 비율 등과 같은 지표를 계산하고, 이를 각종 농산물의 속도판정, 성분분석, 내부 및 외부 결함 검사 등에 활용한다. 고가의 분광광도계 대신에 특정파장대의 광을 감지할 수 있는 다이오드 센서를 이용하여 용이하게 실용화가 가능하며, 가시광선 이외의 영역까지도 확장할 수 있고, 주변의 조명에 크게 민감하지 않도록 설정할 수 있는 장점이 있다. 그러나 이 방법은 농산물의 속도에 따른 분광반사특성의 차이가 뚜렷한 경우에만 사용 가능하며, 특히 센서의 감광부가 작기 때문에 예측이 불가능한 부위에 발생하는 작은 결함을 감지해야 하는 경우에는 사용하기가 어려운 단점이 있다. Gunasekaran과 Paulsen(1986)은 과일, 채소, 곡물, 축산물 등 여러 가지 농산물의 품질평가를 위하여 분광반사특성을 활용한 연구들을 종합적으로 수집하여 보고하였다.

두 번째 방법은 색도색차계로 CIEYxy, CIELab, Hunter Lab, Munsell Notation 등과 같은 3 자극치를 측정하게 되는데, 3 자극치는 표준광원 하에서 관찰자가 인식하는 색 감각을 나타내는 값 들이다. 이 방법은 동일한 색의 재현이 요구되는 섬유, 염료, 플

라스틱 등을 생산하는 제조업체들에서 품질관리를 위하여 주로 활용하고 있으며 등급별 표준 색도표가 있는 농산물의 등급판정이나 소비자들이 선호하는 색깔을 지표로 한 농산물의 분류에도 활용할 수 있다. Thai와 Shewfelt(1991)는 복숭아와 토마토를 대상으로 색도색차계로 측정한 Hunter Lab값으로 소비자의 선호도를 예측하기 위한 연구를 수행하여 선호도와 3 자극치 사이에 선형관계가 있음을 보고하였다. 그러나 3 자극치를 측정하기 위해서는 색도색차계를 측정대상물에 접촉시켜야 하기 때문에 농산물의 On-line 선별에 직접 활용하기 어렵고, 분광광도계와 마찬가지로 감광부가 작은 단점도 있다.

세 번째는 CCD 또는 Video 카메라에 의하여 가시광 영역내의 입력영상을 분석하여 농산물의 기하학적 정보 추출, 결함 유무 판정, 품질 평가 등을 종합적으로 수행하는 방법으로서 최근에 널리 활용되고 있다. 이 방법은 적절한 영상처리, 패턴인식 및 인공지능 기법들을 통하여 인간이 수행하고 있는 거의 모든 시각적 검사방법에 적용될 수 있다는 장점을 가지고 있다. 그러나 가시광 영상으로는 외관검사만 가능하고 인간의 시각적 인지능력과 대등한 영상처리 및 인공시각 기법의 개발이 요구될 뿐만 아니라 정밀하고 복잡한 처리에는 시간이 많이 소요되기 때문에 실시간 구현에 어려움이 있다.

적용하고자 하는 대상체의 외부색택에 대한 정보가 알려진 경우에는 물체의 분광반사특성을 고려한 조명방법을 선택함으로써 영상처리과정을 간략화할 수 있다. 또한 표면 특징점들의 분광반사특성은 영상분할을 위한 중요한 정보로 활용될 수 있다. 따라서 영상정보에 근거한 품질평가시스템의 구현을 위해서는 분광광도계 또는 색도색차계를 활용하여 대상 농산물의 표면 색에 대한 정보를 수집하는 과정이 중요하다.

본 연구는 현재 인간의 목시에 의하여 행해지고 있는 홍삼의 등급판정과 선별과정을 자동화하기 위한 기초연구로서 홍삼의 1차 등급판정과정을 광학적 및 기하학적 특성에 근거하여 객관적이고 정량적인 방법으로 개선하기 위하여 수행되었다.

본 연구의 구체적 목적은

- 1) 분광광도계를 이용하여 홍삼의 각 부위별 분광 반사특성을 측정하여 등급판정에 활용할 수 있는 가능성을 검토하고,
- 2) 홍삼의 분광반사특성을 고려한 조명방법과 광학필터(Optical Filter)등을 선정하여 영상입력 장치를 구성하며,
- 3) 컴퓨터에 입력된 영상으로부터 형상인자들을 추출하기 위한 영상처리기법을 개발하는 것이다.

2. 재료 및 방법

가. 재 료

홍삼은 외관, 색깔 및 형태에 의하여 천삼, 지삼, 양삼, 잡삼으로 분류된다. 본 연구에서는 시중에서 판매되고 있는 세 등급의 홍삼(천삼, 지삼, 양삼)을 7면씩 구입하여 사용하였다.

나. 분광반사 측정 장치의 구성

홍삼의 분광반사특성을 측정하기 위하여 설치한 분광광도계(Spectrophotometer)는 할로겐 전구를 사용한 광원(Light Source), 특정파장의 광만을 통과시키는 대역통과필터(Band-Pass Filter), 광을 효과적으로 전달하기 위한 광섬유(Optical Fiber), 광전자를 증폭시키고 전기적인 출력신호로 집적하는 광전증배관(Photomultiplier Tube), 출력신호를 수집하고 처리하기 위한 A/D 변환기와 퍼스널 컴퓨터 및 주변기기 등으로 구성되었다. 분광광도계의 개략도를 그림 1에 나타내었다. 광원에서 발생한 광은 대역통과 필터에 의해서 특정파장대의 단색광으로 바뀌어 두 갈래(bifurcated) 광섬유의 한 가닥을 통하여 광섬유로부터 5mm 떨어져 있는 시료 표면으로 입사된다. 시료 표면에서 반사된 광은 광섬유의 다른 가닥을 통하여 광전증배관에 의하여 감지된다.

단일 개체에서도 색깔이 균일하지 않기 때문에 홍삼의 뇌두, 주근, 지근 부분에 대하여 가시광선영역(400nm~700nm)에 대하여 50nm 간격으로 7개의 특

정파장에서의 반사도를 측정하였다.

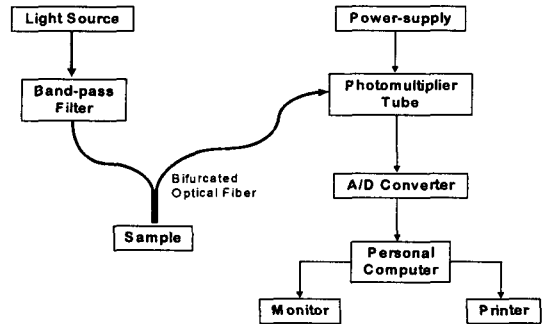


Fig. 1 Schematic diagram of instruments for optical properties measurement.

다. 영상처리장치의 구성

색상 왜곡이 최소화된 홍삼의 영상을 획득하기 위하여, 직경 50cm의 원주 위에 등간격으로 할로겐램프(100Watt) 8개를 배치한 조명장치를 설치하였다. 시료대는 조명램프로 부터 수직방향으로 60cm 아래에 위치시켰으며, 주변으로부터의 빛을 차광막으로 차단한 상태에서 입력영상을 얻었다. 영상의 입력을 위한 센서로서 해상도가 768(수평)×493(수직) 화소(Pixel)인 Sony XC-711 RGB CCD 카메라를 사용하였으며, CCD 카메라에는 대역통과필터를 교대로 장착시킬 수 있도록 하였다. CCD 카메라의 RGB 칼라 영상 출력은 주 컴퓨터(Host computer)내에 장착된 영상처리장치(Image processing board)로 입력되어 프레임 버퍼(Frame buffer)에 저장된다. 주 컴퓨터로는 IBM AT486 DX2를 이용하였으며, DT2871 칼라 영상처리장치를 이용하였다. 프레임 버퍼에 저장된 영상을 모니터에 실시간으로 재현하기 위하여 Sony KX-14CP1 Trinitron 칼라모니터를 사용하였다. 영상 입력 및 영상처리를 위한 프로그램은 C 언어를 사용하여 개발하였으며 Microsoft C compiler 6.0과 Aurora subroutine library가 활용되었다. 영상처리 시스템의 개괄도를 그림 2에 나타내었다.

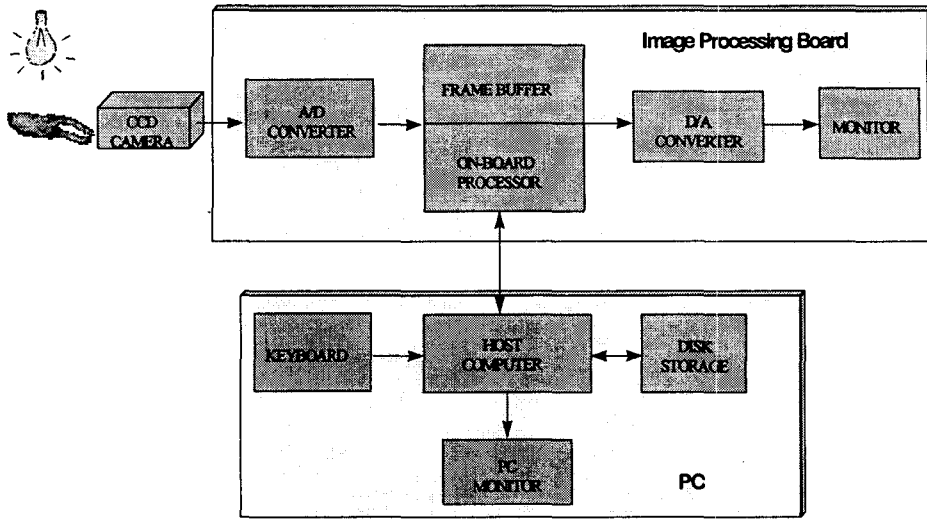


Fig. 2 Schematic diagram of image processing system.

라. 영상처리 알고리즘

홍삼의 등급판정에 영향을 미치는 대표적인 기하학적 형상인자로는 주근의 굵기와 길이, 지근의 갯수 및 길이, 지근의 균형 정도, 뇌두의 존재 여부 등이 있다. 기하학적인 형상인자를 추출하기 위한 영상처리 알고리즘은 크게 배경으로부터 대상체를 분리하는 영상 분할 과정, 분할된 대상체의 세선화과정, 세선화 된 영상으로부터 형상인자를 추출하는 과정으로 구분된다.

(1) 입력영상의 분할

영상을 배경과 대상체 즉 홍삼영역으로 분할하기 위하여 문턱값 처리(thresholding)를 이용하였다. 배경과 대상체 영역을 효율적으로 분할하는 방법을 찾기 위하여 CCD 카메라에 대역통과 필터를 장착하여 얻은 영상들을 비교 분석하였다. 대역통과필터를 장착하여 얻은 각각의 영상들 중 배경과 대상체를 가장 효율적으로 분할할 수 있는 영상을 선택하여 문턱값 처리에 의하여 2치화한 후 이 영상을 마스크 패턴으로 활용하였다.

한편 문턱값 처리에 의한 영역 분할 후에는 대상체 내부에 작은 구멍, 배경에 작은 고립점 등이 생기

거나 경계선에 작은 오목부분이 생기는 경우가 많다. 본 연구에서는 경계선의 이동을 최소화하면서 이 문제를 해결하기 위하여 3×3 메디안 필터(median filter)를 이용하였다.

(2) 대상체의 세선화

분할된 대상체의 본래 구조를 유지한 채로 폭을 가늘게 하여 중심선을 추출하는 세선화(thinning)는 인삼의 주근과 지근의 분기점은 물론 인삼의 골격을 해석하기 위하여 필요한 과정이다. 세선화를 위해서는 대상체의 경계화들 중 선의 끝점과 도형의 연결점이 아닌 화소들을 제거하는 과정을 반복함으로써 중심선을 찾는데 본 연구에서는 유클리드 거리도표(Euclidean distance map)를 작성하고 이를 활용하여 중심선을 찾는 방법을 이용하였다. 이론적으로 유클리드 거리도표는 대상체 내의 각 화소에서 가장 가까운 경계선까지의 직선거리를 화소값으로 입력함으로써 작성한다. 따라서 경계선으로부터 대상체의 중심으로 갈수록 높은 화소값을 가지게 되며 중심선에서 최대값이 된다. 이 방법의 장점은 변환된 거리값으로부터 대상체의 폭이나 형상특징의 추출이 용이하다는 것이다. 8-근방 거리를 이용하여 순차적으로 유클리드 거리도표를 구하는 알고리즘

을 설명하면 다음과 같다.

(가) 배경영역의 모든 화소값을 0으로 설정한 후 입력영상을 좌측상단으로부터 TV모니터와 같은 방향으로 주사하면서 각 화소좌표(i, j)에서 그림 3(a)와 같이 화소값($g_{i,j}$)을 구한다.

(나) 입력화상을 우측하단으로부터 TV 모니터와 반대방향으로 주사하면서 각 화소좌표(i, j)에서 그림 3(b)와 같이 화소값($g_{i,j}$)을 구한다.

그림 3에서 근방 화소까지의 거리를 수직 방향으로는 5, 수평방향은 6, 대각선 방향으로는 8을 사용하였다. 그 이유는 영상을 구성하고 있는 각 화소의 장평비가 1:1.24로서 화소의 대각선 길이는 1.59가 된다. 따라서 1:1.24:1.59를 근사적으로 대신할 수 있는 값으로 각각 5:6:8을 채택하였다.

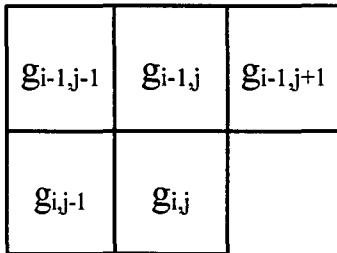
이와 같은 방법으로 작성된 유클리드 거리도표를 표현된 화소값들 중에서 지역 최대값(local maximum)들을 추출하면 중심선이 된다.

(3) 기하학적 형상인자의 추출

세선화 기법에 의하여 폭이 1인 선으로 변환된 대상체로부터 형상인자들(주근의 굵기와 길이, 주근으

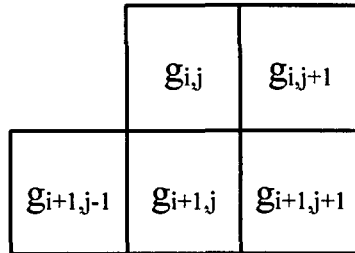
로부터 뇌두와 지근이 분지하는 지점의 위치, 지근의 개수와 길이)을 추출하기 위하여 중심선에 위치한 화소들을 추적하면서 2진 수목구조(binary tree node)를 작성하였다. 수목구조의 작성을 위해서는 중심선 내의 화소들중에서 특징적인 화소의 검출이 필요한데 이를 위해서 각 화소에서의 연결수를 이용하였다.

먼저 연결수가 1인 화소는 끝점을 나타내며, 연결수가 2인 화소는 중심선위의 연결점들을 나타내고, 연결수가 2 보다 큰 점들은 분기를 가진 점을 나타낸다. 하나의 형상요소(feature element)는 끝점이나 분기점에서 시작하고 끝이 나게 된다. 각각의 형상 요소는 수목구조상의 node로 표현되며 여기에는 형상요소의 시작점과 끝점의 위치, 길이, 평균 굵기 등과 같은 정보를 저장한다. 수목구조로 저장된 정보로부터 길이와 평균굵기의 곱을 계산하여 이 값이 특정값보다 큰 요소들 중 최대값을 갖는 요소를 인삼의 주근으로, 나머지를 지근으로 판별하며, 그리고 주근과 지근의 시작점과 끝점의 좌표를 비교함으로써 지근과 뇌두의 위치를 판별한다.



(a) Neighbor used in step 1.

$p_1 = g_{i-1,j-1} + 8$ $p_2 = g_{i-1,j} + 5$ $p_3 = g_{i-1,j+1} + 8$ $p_4 = g_{i,j-1} + 6$ $g_{i,j} = \min(p_1, p_2, p_3, p_4)$ <p>where $g_{i,j}$ is pixel value at (i, j)</p>



(b) Neighbor used in step 2.

$p_1 = g_{i,j+1} + 6$ $p_2 = g_{i+1,j-1} + 8$ $p_3 = g_{i+1,j} + 5$ $p_4 = g_{i+1,j+1} + 8$ $g_{i,j} = \min(g_{i,j}, p_1, p_2, p_3, p_4)$ <p>where $g_{i,j}$ is pixel value at (i, j).</p>

Fig. 3 Algorithm for calculating Euclidean distance map.

(4) 화소의 측도 설정

위에서 설명한 유클리드 거리도표의 작성 및 기하학적 형상인자의 추출 결과는 입력영상 내에서 대상체가 차지하고 있는 화소수에 따라서 달라지게 된다. 이의 보정을 위해서 크기를 알고 있는 물체의 영상으로부터 1개의 화소가 나타내는 수평, 수직, 대각선 방향의 거리 및 면적을 미리 구하고 이를 이용하여 형상요소의 길이, 굵기, 면적 등의 값을 환산해 주어야 한다.

본 연구에서는 보정을 위하여 외경 86mm, 내경 56mm인 플로피 디스켓을 이용하였다. 그림 4(a)는 450nm 대역통과필터를 카메라에 장착하고 플로피 디스켓의 영상을 획득한 후 문턱값 처리를 한 결과를 보여주고 있다. 플로피 디스켓이 차지하는 영역의 크기는 수평방향으로 186화소, 수직방향으로 230화소였으며, 각 화소의 길이는 수평방향 0.43mm, 수직방향 0.35mm이었고, 대각선 방향으로는 0.55mm가 되는 것으로 나타났다.

그림 4(b)는 문턱값 처리된 이치화 영상으로부터 유클리드 거리도표를 작성한 결과를 보여주고 있다. 유클리드 거리도표는 경계선으로부터 각 화소까지의 거리를 화소값으로 표현해 주기 때문에 중심선에 가까울수록 점점 더 검은 색으로 나타나는 것을 알 수 있다 (영상처리 과정에서는 높은 화소값일수록 흰색에 가깝게 표현되나 본 논문에서는 결과를 반전

처리하여 나타내었음).

유클리드 거리도표로부터 중심선을 추출한 결과를 문턱값 처리된 플로피 디스켓의 영상과 중첩하여 그림 4(c)에 나타내었다. 실제로 중심선을 구성하는 각 화소들은 경계선으로부터의 거리에 따라 약간씩 다른 화소값을 가지며 그 크기 분포는 평균 202.93, 표준편차 ± 7.17 이었다. 화소값으로부터 실제 플로피 디스켓의 폭(30mm)으로 환산하기 위해서는 화소값에 0.148을 곱해 주어야 하며, 이 경우 실제 굵기에서의 편차는 ± 1.1 mm 정도가 된다.

3. 결과 및 고찰

가. 홍삼의 분광반사 특성

홍삼(천삼, 지삼, 양삼)의 뇌두, 주근, 지근부분에 대하여 가시광선영역(400nm~700nm)중 50nm 간격으로 7개의 특정파장에서의 반사율을 측정한 결과를 그림 5에 나타내었다. 홍삼의 분광반사특성은 500nm 이하에서는 차이가 거의 나타나지 않았으며, 적색파장대로 갈수록 반사율이 증가하면서 등급별 차이도 크게 나타나는 것을 알 수 있다.

뇌두 부분의 분광반사율은 그림 5(a)와 같이 전반적으로 주근의 분광반사율에 비하여 높게 나타났으며, 천삼의 분광반사율이 양삼의 분광반사율과 거의

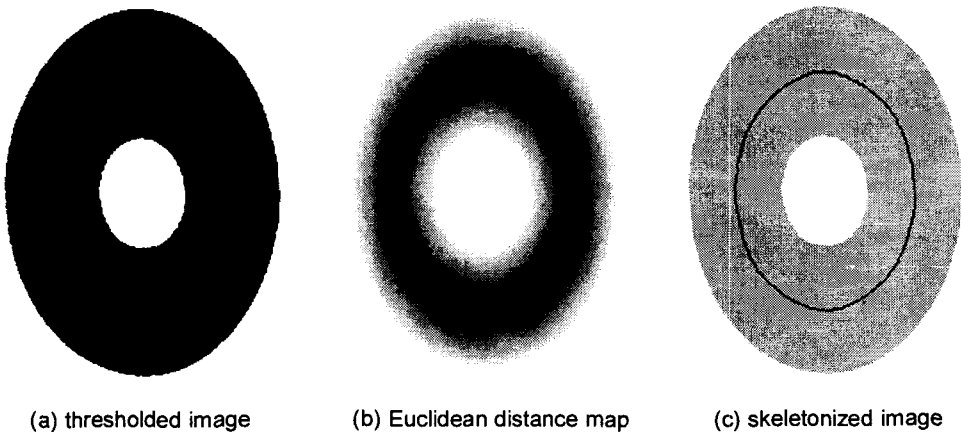
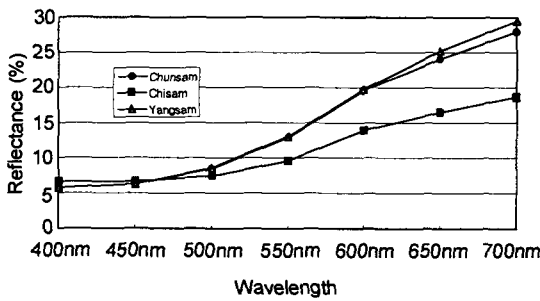
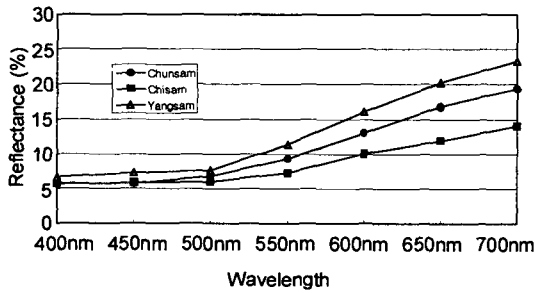


Fig. 4 Processed images of calibration disk (Inverted).

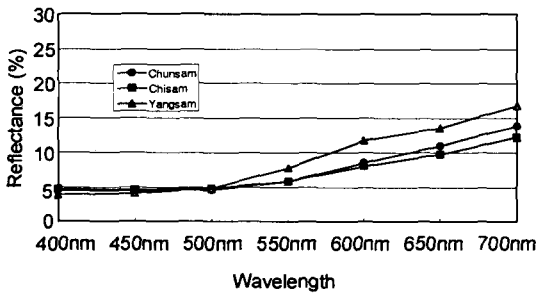
일치할 정도로 높아진 것을 알 수 있다. 주근 부분에서는 그림 5(b)에 나타난 바와 같이 양삼의 분광반사율이 가장 높고 지삼의 분광반사율이 가장 낮았으며 천삼의 분광반사율은 양삼과 지삼의 중간정도인 것으로 나타났다. 지근 부위에서는 그림 5(c)와 같이 분광반사율이 주근에 비하여 낮게 나타났으며, 천삼의 분광반사율은 지삼의 분광반사율에 더 근접한 것으로 나타났다.



(a) Red-ginseng head



(b) Red-ginseng body



(c) Red-ginseng root

Fig. 5 Spectral reflectance characteristics of red-ginseng.

또한 지삼의 지근 부분에서는 반사율이 천삼과 비슷하나 주근과 뇌두 부분에서의 분광반사율이 천삼에 비하여 낮은 것을 알 수 있고, 양삼은 뇌두 부분의 반사율이 천삼과 비슷하나 주근과 지근 부분의 반사율이 천삼에 비하여 높은 것을 알 수 있다. 이는 지삼의 경우 지근 부분과 유사한 선택이 주근 및 뇌두 부분까지도 퍼져 있고, 양삼의 경우 뇌두 부분과 유사한 선택이 주근과 지근 부분까지 퍼져 있기 때문인 것으로 판단된다. 또한 홍삼의 경우 단일 개체 내에서도 뇌두, 주근, 지근 등 부위별로 반사특성이 각각 다르기 때문에 정확한 분광반사 특성의 측정지점을 선정하는 데는 어려움이 많다. 따라서 특정 부위의 반사특성을 측정하여 이를 기준으로 홍삼을 선별하는 방법보다는 뇌두, 주근, 지근 부위의 분광반사 특성을 동시에 측정할 결과를 바탕으로 선별하는 방법이 바람직할 것이다. 이를 위해서는 앞에서 언급한 세 가지 비파괴 품질 평가방법중 영상처리를 이용한 선별방법이 보다 더 유리할 것으로 판단되었다.

나. 영상처리에 의한 형상인자의 추출

입력영상의 효율적인 영역분할을 위하여 특정과장대의 광만을 통과시키는 대역필터를 CCD카메라에 장착한 후 획득한 영상을 비교 분석하였다. 그림 6, 그림 7, 그림 8은 650nm(R band), 550nm(G band), 450nm(B band) 대역통과필터를 장착한 후 얻은 영상들을 각각 나타내고 있다. 그림 6과 그림 7에서는 그림자로 인하여 인삼과 배경의 경계선이 명확하지 않은 부분들이 있으나, 그림 8(450nm 필터를 장착한 경우)에서는 대상체 내의 칼라값이 비교적 균일하고 경계부분의 칼라값 변화가 명확하였다. 따라서 본 연구에서는 450±10nm 대역통과필터를 장착하여 얻은 영상을 문턱값 처리에 의하여 2치화한 후 이 영상을 마스크 패턴으로 활용하였다.

마스크 패턴과 대역필터를 장착하지 않고 획득한 영상을 중첩하여 마스크 내부에 포함되는 영역만을 추출해 내면 배경영역과 분할된 대상체 영상을 얻게 된다. 대상체 영역 내부에 있는 작은 구멍, 배경 영

역에 있는 작은 고립점, 경계선 부근에 생기는 작은 오목 부분들은 3×3 메디안 필터를 이용하여 제거하였으며, 그림 9는 그 결과를 보여주고 있다. 배경 영역의 모든 화소값들은 0 (검은 색)이며, 대상체 내부에 속해 있는 화소들은 원래의 화소 값을 유지하고 있기 때문에 추후의 칼라 분석과정에서 효율적으로 활용된다.

분할된 영상으로부터 인삼의 형상인자들을 추출하기 위해서 대상체 영상의 중심선에 해당하는 골격을 구하였다. 대상체의 골격을 구하는 과정은 크게 유클리드 거리도표의 작성과 세선화 처리로 구분되

는데, 처리시간이 많이 소요되는 유클리드 거리도표의 작성 과정을 단축하기 위하여 Run-length encoding 방법으로 대상체 내부만을 처리영역으로 설정하였다.

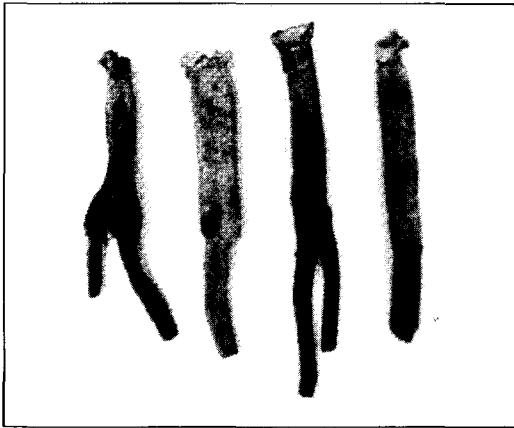


Fig. 6 Red-ginseng image acquired through $650 \pm 10\text{nm}$ band-pass filter.

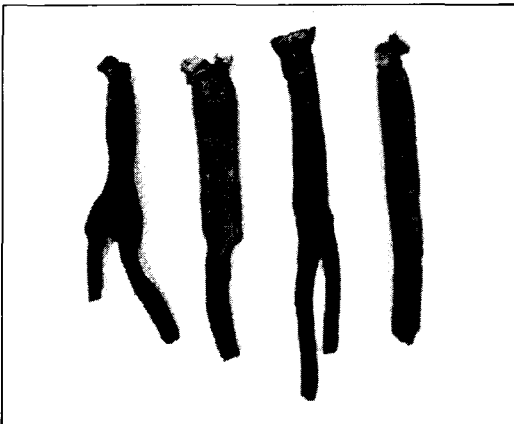


Fig. 7 Red-ginseng image acquired through $550 \pm 10\text{nm}$ band-pass filter.

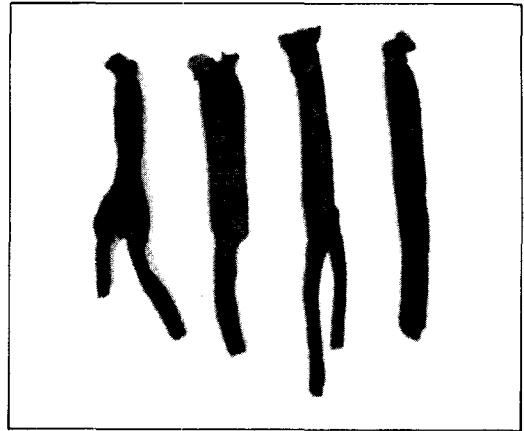


Fig. 8 Red-ginseng image acquired through $450 \pm 10\text{nm}$ band-pass filter.

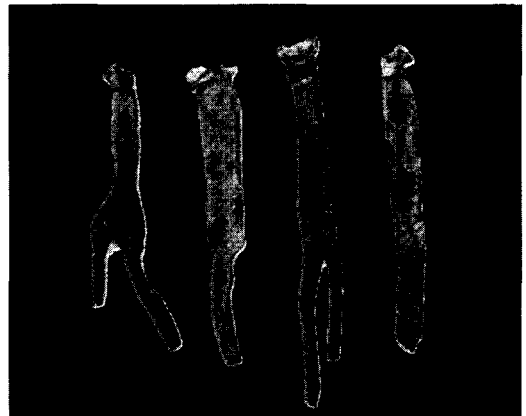


Fig. 9 Red-ginseng image segmented by masking.

분할된 영상으로부터 유클리드 거리도표를 작성한 결과를 그림 10에 역상으로 나타내었다. 그림 11은 유클리드 거리도표로부터 중심선에 해당하는 화소만을 추출하여 세선화한 결과를 보여주고 있다. 중심선 화소들은 각 화소에서 경계선까지의 최소거

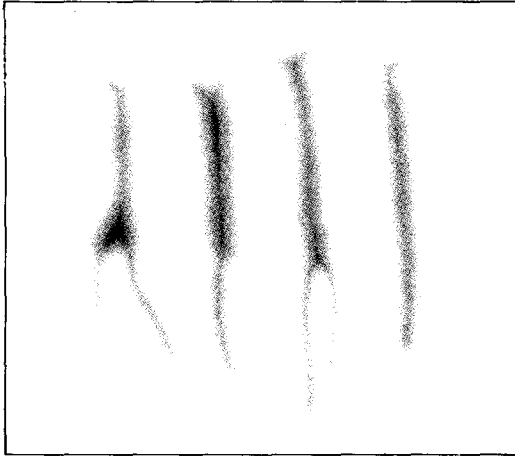


Fig. 10 Euclidean distance map for red-ginseng image (Inverted).

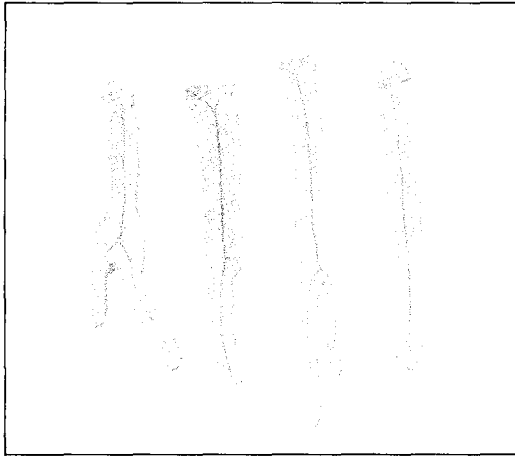


Fig. 11 Result of skeletonization of red-ginseng image (Inverted).

리, 즉 각 화소에서의 굵기로 환산할 수 있는 화소값을 갖고 있기 때문에 인삼의 굵기를 추정하는데 유용한 정보로 활용된다

세선화된 영상에서 중심선에 위치한 화소들을 따라 추적하면서 근방화소의 개수에 따라 시작점이나 분지점 등과 같은 특징점들을 발견하고, 두 개의 특징점을 연결하는 중심선을 인삼의 주요 형상요소로 간주하여 2진 수목구조 형태로 저장하였다. 저장된 형상요소들 중에서 형상요소를 구성하는 화소 값들의 총합이 가장 큰 요소를 인삼의 주근으로, 화소 값들의 총합이 2,500 이상이 되는 형상요소를 지근으로 간주하였다. 또한 주근의 양단 중에서 지근의 시작점과 일치하는 지점을 분지점으로 판단하였으며 다른 한 점을 너두의 위치로 판정하였다. 또한 형상요소를 구성하고 있는 화소수에 보정과정에서 구한 환산 길이를 곱하여 주근과 지근의 길이를 구했으며, 주근과 지근의 굵기는 화소 값들의 총합을 화소수로 나누어 주고 여기에 보정과정에서 구한 환산 굵기를 곱하여 구하였다. 그림 11에 나타낸 각각의 인삼으로부터 추출한 형상인자들의 크기와 실제 크기를 비교하여 표 1에 나타내었다. 표 1에서 시료 번호는 그림 9에 보인 인삼 영상의 좌측로부터의 순서를 나타낸다.

표 1에서 굵기(thickness), 곡선길이(curved length), 직선길이(straight length)는 각각 알고리즘에 의하여 얻어진 주근(body) 및 지근(root)의 평균 굵기, 중심선을 따라서 구한 총연장길이, 시작점과 끝점의 화소좌표에 의하여 구해진 직선거리를 나타낸다. 동시에 측정된 직선길이와 곡선길이를 활용하여 주근 및 지근의 곡률 정도를 정확하게 예측할 수 있다.

Table 1 Performance of the feature extraction algorithm

(unit: mm)

Sample	Red-ginseng 1			Red-ginseng 2		Red-ginseng 3			Red-ginseng 4
	Body	Root 1	Root 2	Body	Root 1	Body	Root 1	Root 2	Body
Thickness	14.3	10.8	11.1	18.2	11.0	14.8	8.4	7.7	13.6
Curved length (CL)	60.9	36.4	59.5	62.8	52.0	85.3	64.8	45.4	123.3
Straight length (SL)	54.3	31.2	50.1	56.9	45.2	75.8	56.8	39.4	110.6
CL/SL	1.12	1.17	1.19	1.10	1.15	1.13	1.14	1.15	1.11

4. 요약 및 결론

선별의 자동화를 추진하는데 필요한 기초연구로서, 인간의 목시에 의하여 행해지고 있는 홍삼의 1차 등급판정과정을 광학적 및 기하학적 특성에 근거한 객관적이고 일관성있는 방법으로 개선하기 위한 연구를 수행하였다. 시중에서 판매되고 있는 세 등급(천삼, 지삼, 양삼)의 홍삼을 대상으로 뇌두, 주근, 지근 부분의 가시광선 영역에서의 분광반사특성을 분광광도계를 이용하여 측정·분석하였다. 양삼의 경우 천삼에 비하여 주근과 지근부위의 반사율이 높게 나타났으며, 지삼의 경우는 천삼에 비하여 주근과 뇌두의 반사율이 낮은 것으로 나타났다. 홍삼은 단일 개체 내에서도 뇌두, 주근, 지근 등 부위별로 반사특성이 각각 다르기 때문에 특정부위의 반사특성을 측정하여 이를 기준으로 홍삼을 선별하는 방법보다는, 영상처리를 응용하여 여러 부위의 분광반사특성을 동시에 측정하고, 입력영상을 종합적으로 분석하여 등급을 판정하는 것이 유리할 것으로 판단되었다.

홍삼영상의 입력과정에서 CCD 카메라에 여러 가지 대역통과필터를 장착한 후 획득한 영상을 비교한 결과 450nm 대역통과필터를 장착했을 때 가장 효율적인 문턱값 처리 결과를 얻을 수 있었다. 입력된 영상으로부터 뇌두와 분지점의 위치, 주근의 길이와 굵기, 지근의 개수와 길이 등과 같은 인삼의 형상인자들을 추출하기 위한 영상처리 기법을 개발하였다. 개발된 영상처리 기법은 영상획득, 영상분할, 유크리드 거리도표 작성, 중심선 추출, 기하학적 형상 추출 단계 등으로 구성되어 있다.

개발된 영상처리 기법을 검증하기 위하여 4개의 대표적인 홍삼의 영상에 적용한 결과 지근의 개수, 뇌두의 위치, 주근 및 지근의 평균 굵기 등을 정확하게 파악할 수 있었다. 또한 주근 및 지근의 직선길이와 곡선길이를 동시에 측정하여 주근과 지근의 곡

률 정도를 예측할 수 있었다.

참고 문헌

1. 한국 담배인삼공사. 1989. 고려홍삼.
2. 한국 담배인삼공사. 1995. 담배인삼관련법령집.
3. Dowell, F. E. 1992. Identifying undamaged and damaged peanut kernels using tristimulus values and spectral reflectance. Transactions of the ASAE 35(3):931-937.
4. Gunasekaran, S. and M. R. Paulsen. 1986. Automatic, nondestructive detection of corn kernel defects. Internal Advances in Nondestructive Testing. 1986, Vol. 12, 95-115.
5. Kim, Y. H., C. S. Kim, S. B. Kim, M. S. Kim and K. C. Shin. 1992. Correlation between non-destructive quality evaluation parameters and spectral reflectance of apple. Journal of the KSAM 17(4):370-381.
6. Miller, B. K. and M. J. Delwiche. 1988. A color vision system for peach grading. ASAE Paper No. 88-6025. ASAE, St. Joseph, MI 49085.
7. Russ, J. C. 1995. The image processing handbook. CRC Press, Inc.
8. Sarabi, A. and J. K. Aggarwal. 1981. Segmentation of chromatic images. Pattern Recognition, 13(6): 417-427.
9. Shearer, S. A. and F. A. Payne. 1990. Color and defect sorting of bell peppers using machine vision. Transactions of the ASAE 33(6):2045-2050.
10. Thai, C. N. and R. L. Shewfelt. 1991. Modeling sensory color quality of tomato and peach: Neural networks and statistical regression. Transactions of the ASAE 34(3):950-955.