

인삼선별의 자동화를 위한 컴퓨터 시각장치

Computer Vision System for Automatic Grading of Ginseng

김철수*

정회원

C.S. Kim

이중용*

정회원

J.Y. Rhee

1. 서론

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 전망이다. 생산량 급증으로 인한 홍삼의 품질 저하를 방지하기 위해서는 등급을 보다 세분화하고 객관적이고 일관성 있는 기준에 의한 엄격한 등급 판정을 통하여 홍삼 조제가공 공정에서의 철저한 품질 관리가 필요하다.

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

본 연구는 현재 인간의 목시에 의하여 행해지고 있는 홍삼의 1차 등급판정과정을 광학적 및 기하학적 특성에 근거한 객관적이고 일관성있는 방법으로 개선하기 위한 기초연구로서 컴퓨터에 입력된 영상으로부터 형상인자들을 추출하는 영상처리기법을 개발하기 위하여 수행되었다.

2. 재료 및 방법

가. 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 칼라영상 출력은 주 컴퓨터(Host computer)내에 장착된 영상처리장치(Image

* 전북대학교 농과대학 농업기계공학과

processing board)로 입력되어 영상처리를 위하여 프레임 버퍼(Frame buffer)에 저장된다. 주 컴퓨터로는 IBM AT486 DX2를 이용하였으며, 영상처리장치로는 DT2871 칼라 영상처리장치를 이용하였다. 프레임 버퍼에 저장된 영상을 모니터에 실시간으로 재현하기 위하여 Sony KX-14CP1 Trinitron 칼라 모니터를 사용하였다. 영상입력 및 영상처리를 위한 프로그램은 C 언어를 사용하여 개발하였으며 Microsoft C compiler 6.0과 Aurora subroutine library가 활용되었다.

나. 영상처리기법의 개발

홍삼의 등급판정에 영향을 미치는 대표적인 기하학적 형상인자에는 주근의 굵기와 길이, 지근의 개수 및 길이, 지근의 균형 정도, 뇌두의 존재 여부 등이 있다. 기하학적 형상인자를 추출하기 위하여 본 연구에서 개발된 영상처리기법은 크게 나누어 배경으로부터 대상체만을 분리하기 위한 영상 분할 과정, 분할된 대상체의 세션화과정, 세션화된 영상으로부터 형상인자를 추출하는 과정으로 구분된다.

1) 입력영상의 분할기법

영상을 배경과 대상체 즉 홍삼영역으로 분할하기 위하여 문턱값 처리(thresholding)를 이용하였다. 배경과 대상체 영역을 효율적으로 분할하는 방법을 찾기 위하여 CCD 카메라에 여러 가지 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.

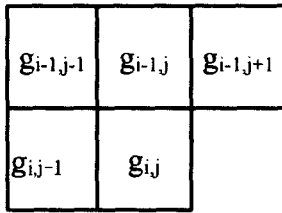
한편 문턱값 처리에 의한 영역 분할 후에는 대상체 내부에 작은 구멍, 배경에 작은 고립점 등이 생기거나 경계선에 작은 오목부분이 생기는 경우가 많다. 본 연구에서는 이 문제를 해결하기 위하여 3×3 메디안 필터(median filter)를 이용하였다.

2) 대상체의 세션화 기법

분할된 대상체의 본래 구조를 유지한 채로 폭을 가늘게 하여 중심선을 추출하는 세션화(thinning)는 인삼의 주근과 지근의 분기점은 물론 인삼의 골격을 해석하기 위하여 필요한 과정이다. 세션화를 위해서는 대상체의 경계화소들 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 대상체내의 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 알고리즘을 설명하면 다음과 같다.

- (1) 배경영역의 모든 화소값을 0으로 설정한 후 입력영상을 좌측 상단으로부터 TV모니터와 같은 방향으로 주사하면서 각 화소좌표(i, j)에서 그림 1(a)와 같이 화소값(g_{ij})을 구한다.

(2) 입력화상을 우측 하단으로부터 TV 모니터와 반대방향으로 주사하면서 각 화소좌표(i, j)에서 그림 1(b)와 같이 화소값(g_{ij})을 구한다.



(a) Neighbor used in step 1.

$$p_1 = g_{i-1,j-1} + 8$$

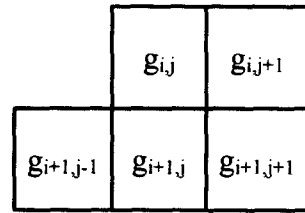
$$p_2 = g_{i-1,j} + 5$$

$$p_3 = g_{i-1,j+1} + 8$$

$$p_4 = g_{i,j-1} + 6$$

$$g_{ij} = \min(p_1, p_2, p_3, p_4)$$

where g_{ij} is pixel value at (i, j)



(b) Neighbor used in step 2.

$$p_1 = g_{i,j-1} + 6$$

$$p_2 = g_{i+1,j-1} + 8$$

$$p_3 = g_{i-1,j} + 5$$

$$p_4 = g_{i-1,j+1} + 8$$

$$g_{ij} = \min(g_{ij}, p_1, p_2, p_3, p_4)$$

where g_{ij} is pixel value at (i, j).

Fig. 1. Neighbor used in Euclidean distance map.

그림 1에서 근방 화소까지의 거리를 수직 방향으로는 5, 수평방향은 6, 대각선 방향으로는 8을 사용하였다. 영상을 구성하고 있는 각 화소의 장평비가 1:1.24로서 화소의 대각선 길이는 1.59가 된다. 그런데 영상처리장치에 저장되는 화소값은 자연수이면서 255보다 작아야 하기 때문에 1:1.24:1.59를 근사적으로 대신할 수 있는 값으로 각각 5:6:8을 채택한 것이다. 이와 같은 방법으로 작성된 유클리드 거리도표로 표현된 화소값들 중에서 지역 최대값(local maximum)들을 추출하면 중심선이 된다.

3) 기하학적 형상인자의 추출 기법

세선화 기법에 의하여 폭이 1인 선으로 변환된 대상체로부터 형상인자들(주근의 굵기와 길이, 주근으로부터 뇌두와 지근이 분지하는 지점의 위치, 지근의 개수와 길이)을 추출하기 위하여 중심선에 위치한 화소들을 추적하면서 2진수목구조(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 형상요소는 수목구조상의 node로 표현되며 여기에는 형상요소의 시작점과 끝점의 위치, 길이, 평균 굵기 등과 같은 정보를 저장한다.

수목구조로 저장된 정보로부터 길이와 평균굵기의 곱이 최대값이 되는 요소를 인삼의 주근으로, 이 값이 특정값보다 큰 것들을 지근으로, 그리고 주근과 지근의 시작점과 끝점의 좌표를 비교함으로써 지근과 뇌두의 위치를 판별한다.

4) 영상처리기법의 보정(Calibration)

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 환산해주어야 한다.

본 연구에서는 보정을 위하여 직경 86mm, 폭 30mm인 플로피 디스켓을 이용하였다. 그림 2(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 0.55mm 가 되는 것으로 나타났다.

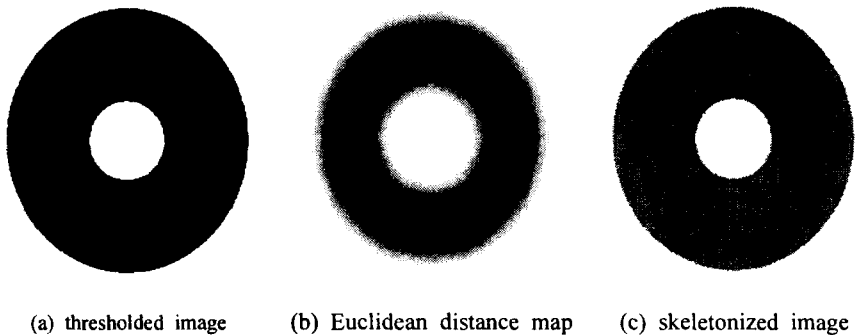


Fig. 2. Processed images of calibration disk. (Inverted)

그림 2(b)는 문턱값 처리된 이치화 영상으로부터 유클리드 거리도표를 작성한 결과를 보여주고 있다. 유클리드 거리도표는 경계선으로부터 각 화소까지의 거리를 화소값으로 표현해주기 때문에 중심선에 가까울수록 점점 더 검은색으로 나타나는 것을 알 수 있다 (영상처리 과정에서는 높은 화소값일수록 흰색에 가깝게 표현되나 본 논문에서는 결과를 반전처리하여 나타내었음).

유클리드 거리도표로부터 중심선을 추출한 결과를 문턱값처리된 플로피 디스크의 영상과 중첩하여 그림 2(c)에 나타내었다. 실제로 중심선을 구성하는 각 화소들은 경계선으로부터의 거리에 따라 약간씩 다른 화소값을 가지며 그 크기 분포를 살펴보면 평균 202.93, 표준편차 ± 7.17 이었다. 화소값으로부터 실제 플로피 디스크의 폭(30mm)으로 환산하기 위해서는 화소값에 0.148을 곱해주어야 하며, 이 경우 실제 굵기에서의 편차는 ± 1.1 mm 정도가 된다.

3. 결과 및 고찰

CCD 카메라에 의하여 입력된 영상으로부터 홍삼영역과 배경영역의 효율적인 분할을 위하여 특정 파장대의 광만을 통과시키는 대역필터를 CCD카메라에 장착하여 영상을 획득하여 비교 분석하였다.

그림 3, 그림 4, 그림 5는 650nm(R band), 550nm(G band), 450nm(B band) 대역통과필터를 장착한 후

얻은 영상들을 각각 나타내고 있다. 그림 3과 그림 4에서는 그림자로 인하여 인삼과 배경의 경계선이 명확하지 않은 부분들이 있으나, 그림 5(450nm 필터를 장착한 경우)에서는 대상체 내의 화소값이 균일하고 경계부분이 비교적 명확하였다. 따라서 본 연구에서는 $450 \pm 10\text{nm}$ 대역통과필터를 장착하여 얻은 영상을 문턱값처리에 의하여 2치화한 영상을 마스크 패턴으로 활용하였다.

마스크 패턴과 대역필터를 장착하지 않고 획득한 영상을 중첩하여 마스크 내부에 포함되는 영역만을 추출해내면 배경영역과 분할된 대상체 영상을 얻게된다. 대상체 영역 내부에 있는 작은 구멍, 배경 영역에 있는 작은 고립점, 경계선 부근에 생기는 작은 오목 부분들은 3×3 메디안 필터를 이용하여 제거하였으며, 그림 6은 그 결과를 보여주고 있다.



Fig. 3. Red-ginseng image acquired through $650 \pm 10\text{nm}$ band-pass filter.



Fig. 4. Red-ginseng image acquired through $550 \pm 10\text{nm}$ band-pass filter.

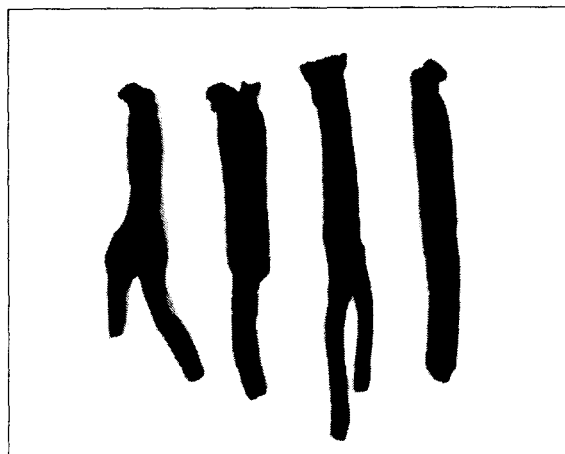


Fig. 5. Red-ginseng image acquired through $450 \pm 10\text{nm}$ band-pass filter.

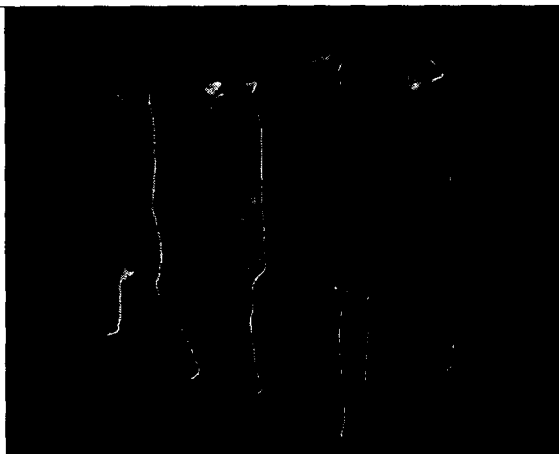


Fig. 6. Red-ginseng image segmented by masking.

그림 6에 나타난 바와 같이 마스크를 이용하여 분할한 영상에서 배경 영역의 모든 화소값들은 0 (검은색)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 세선화³⁾ 처리로 구분되는데, 처리시간이 많이 소요되는 유클리드 거리도표의 작성 과정을 단축하기 위하여 Run-length encoding 방법으로 대상체 내부만을 처리영역으로 설정하였다.

그림 6을 대상으로하여 유클리드 거리도표를 작성한 결과를 그림 7에 역상으로 나타내었다. 그림 8은 유클리드 거리도표로부터 추출한 중심선에 해당하는 화소들을 인삼 영상의 윤곽 위에 중첩하여 나타낸 것으로서 중심선 화소들은 화소로부터 경계선까지의 최소거리, 즉 화소가 위치한 지점에서의 굵기로 환산할 수 있는 화소값을 갖고 있기 때문에 인삼의 굵기를 추정하는데 유용한 정보로 활용된다

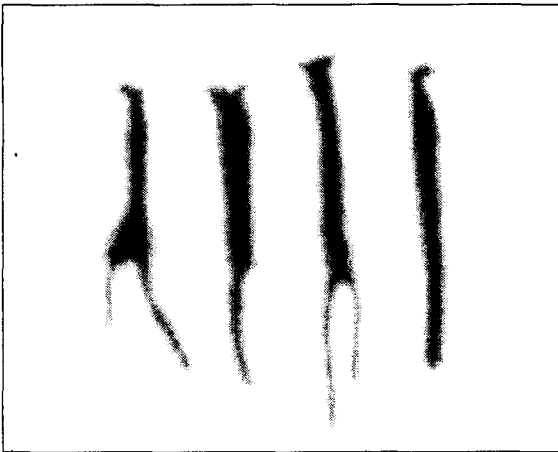


Fig. 7. Euclidean distance map for red-ginseng image. (Inverted)

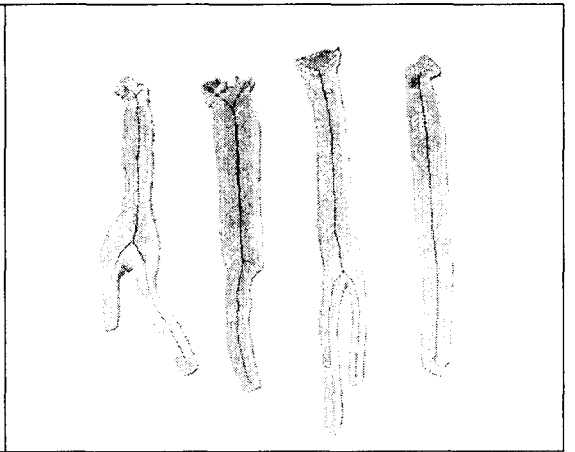


Fig. 8. Result of skeletonization of red-ginseng image. (Inverted)

세선화된 영상에서 중심선에 위치한 화소들을 따라 추적하면서 근방화소의 개수에 따라 시작점이 나 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 양단중에서 지근의 시작점과 일치하는 지점을 분지점으로 판단하였으며 다른 한점을 너두의 위치로 판정하였다. 또한 형상요소를 구성하고 있는 화소수에 보정 과정에서 구한 환산 길이를 곱하여 주근과 지근의 길이를 구했으며, 주근과 지근의 굵기는 화소 값들의 총합을 화소수로 나누어주고 여기에 보정과정에서 구한 환산굵기를 곱하여 구하였다. 그림 8에 나타난 각각의 인삼으로부터 추출한 형상인자들의 크기와 실제 크기를 비교하여 표 1에 나타내었다. 표 1에서 시료 번호는 그림 6에 보인 인삼 영상의 좌측로부터의 순서를 나타낸다.

Table 1. Results of feature extraction from red-ginseng image.

(단위: mm)

시료 항목		홍삼 1		홍삼 2		홍삼 3		홍삼 4	
		실측값	알고리즘	실제값	알고리즘	실제값	알고리즘	실제값	알고리즘
주근	길이	62.7	60.9	66.0	62.8	80.1	85.3	121.1	123.3
	두께	13.3	14.3	17.1	18.2	14.6	14.8	14.7	13.6
지근 1	길이	38.2	36.4	47.6	52.0	65.8	64.8		
	두께	7.2	10.8	10.8	11.0	7.8	8.4		
지근 2	길이	51.4	59.5			44.8	45.4		
	두께	9.7	11.1			7.2	7.7		

표 1에 나타난 바와 같이 주근의 길이에서는 최대오차가 5.2mm였으며, 주근의 굵기에서는 최대오차가 1.1mm였다. 이와 같이 주근의 길이에서 오차가 크게 발생하는 이유는 실제 인삼에서 분지점의 위치와 입력된 영상에서의 분지점의 위치가 정확히 일치하지 않기 때문인 것으로 판단되었다. 지근의 길이에서는 인삼1의 두 번째 지근에서 최대오차 8.1mm가 발생하였으며, 지근의 굵기에서는 인삼1의 첫 번째 지근에서 3.6mm의 최대오차가 발생하였다. 지근의 실측길이는 직선거리인데 반하여 알고리즘에서 계산된 길이는 총연장거리이기 때문에 굴곡이 심한 지근 길이에서 오차가 비교적 크게 발생하는 것으로 판단되었다. 또한 개발된 알고리즘에서는 평균굵기를 계산하기 때문에 지근의 굵기가 일정하지 않을 경우에는 실제 굵기와 오차가 커지는 것으로 나타났다.

IV. 요약 및 결론

인간의 목시에 의하여 행해지고 있는 홍삼의 1차 등급판정과정을 광학적 및 기하학적 특성에 근거한 객관적이고 일관성있는 방법으로 개선하여 선별의 자동화를 추진하는데 필요한 기초연구를 수행하였다.

홍삼영상의 입력과정에서 CCD 카메라에 여러 가지 대역통과필터를 장착한 후 획득한 영상을 비교한 결과 450nm대역통과필터를 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, 유클리드 거리도표 작성, 중심선 추출, 기하학적 형상 추출 등으로 구성되어 있다.

개발된 영상처리 기법을 검증하기 위하여 4개의 대표적인 홍삼의 영상에 적용한 결과 주근의 길이에서는 최대 오차가 5.2mm였으며, 주근의 굵기에서는 최대오차가 1.1mm 정도인 것으로 나타났다. 또한 지근의 길이에서는 최대오차가 8.1mm였으며, 지근의 굵기에서는 3.6mm의 오차가 발생하였지만, 지근의 개수, 뇌두의 위치 등은 정확하게 파악할 수 있었다.

5. 참고 문헌

1. 한국 담배인삼공사. 1989. 고려홍삼.
2. 한국 담배인삼공사. 1995. 담배인삼관련법령집.
3. Bae, Y. H. 1992. Color sorting of apples by surface reflectance. *Journal of the KSAM*, 17(4):382-395.
4. Beasley, E. O. and J. W. Dickens. 1968. Light transmittance of peanut oil as an objective measurement related to quality of raw peanuts. *Transactions of the ASAE* 11(5): 680-682.
5. Dowell, F. E. 1992. Identifying undamaged and damaged peanut kernels using tristimulus values and spectral reflectance. *Transactions of the ASAE*, 35(3):931-937.
6. Gunasekaran, S. and M. R. Paulsen. 1986. Automatic, nondestructive detection of corn kernel defects. *Internal Advances in Nondestructive Testing*. 1986, Vol. 12, 95-115.
7. 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.
8. 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.
9. Russ, J. C. 1995. *The image processing handbook*. CRC Press, Inc.
10. Sarabi, A. and J. K. Aggarwal. 1981. Segmentation of chromatic images. *Pattern Recognition*, 13(6):417-427.
11. 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.
12. Thai, C. N. and R. L. Shewfelt. Modeling sensory color quality of tomato and peach: *Neural networks and statistical regression*. *Transactions of the ASAE*, 34(3):950-955.
13. Thomas, D. L., F. J. K. daSilva and W. A. Cromer. 1988. Image processing technique for plant canopy cover evaluation. *Transactions of the ASAE*, 31(2):428-434.
14. Varghese, Z., C. T. Morrow, P. H. Heinemann, H. J. Sommer, III, Y. Tao and R. M. Crassweller. 1991. Automated inspection of golden delicious apples using color computer vision. ASAE Paper No. 91-7002. ASAE, St. Joseph, MI 49085.
15. Wiggers, W. D., M. R. Paulsen, J. B. Litchfield and J. B. Sinclair. 1988. Classification of fungal-damaged soybeans using color-image processing. ASAE Paper No. 88-3053. ASAE, St. Joseph, MI 49085.