

영상처리를 이용한 홍삼의 외형선별 시스템 개발

Development of a Korean Red-Ginseng's Shape Sorting System Using Image Processing

장요한	장동일	방승훈
정회원	정회원	정회원
Y. H. Chang	D. I. Chang	S. H. Bhang

SUMMARY

The purposes of this study were to organize a shape sorting system, to develop an algorithm of image processing for the shape sorting, and to finally develop a scientific and objective shape sorting system of Korean Red-Ginseng for mechanization of the shape sorting. The results of this study are followed.

1. The shape sorting system of Korean Red-Ginseng consists of a control computer, a color CCD camera(WV-CP4110) for image processing, an image processing board(DT3153), and an image acquisition unit.
2. Many image processing skill, such as sliding, stretching, threshold, binary and D_i , were used to analyze the shape sorting factors of Korean Red-ginseng.
3. The sorting accuracy of the shape sorting system for the Korean Red-Ginseng was 74.7%. It is 21.1% lower than that of human inspector. Although the system has low accuracy, using more cameras may improve its sorting accuracy.

Keywords : Korean red-ginseng, Image processing, Shape sorting.

1. 서 론

홍삼이란, 인삼을 장기간 저장할 목적으로 증숙(蒸熟) 또는 팽숙(烹熟)하거나 기타의 방법으로 인삼의 전분을 호화(糊化)시켜 건조, 제품화한 것을 말한다.

홍삼의 제조과정중 선별공정은 크게 2단계의 과정을 거쳐 이루어진다. 첫 번째 과정은 홍삼의 표면 색깔과 체형 등을 검사하는 외관검사, 두 번째 과정은 홍삼 내부의 내공과 내백을 검사하는 내부 검사로 이루어진다. 현재 이 두 과정 모두 인력에

의해 이루어지고 있어서 검사원들의 주관과 감정이 개입될 수 있고, 정해진 등급기준의 객관성이 떨어져 홍삼제품의 품질이 균일하지 못한 실정이다. 또한 전문 인력을 양성하고, 양성 후 인력을 관리하는 데도 많은 어려움이 따르며, 단순하면서도 집중력이 필요한 선별과정에서의 작업 여건이 열악하여 선별작업의 능률이 저하되는 문제점이 있어, 보다 과학적이고 능률적인 선별공정을 위한 자동화 시스템의 개발이 절실히 요구되고 있는 실정이다(Chang 등, 1999).

최근 들어 영상처리를 농산물의 품질 판정에

The article was submitted for publication in March 2001, reviewed in April 2001, and approved for publication by the editorial board of KSAM in May 2001. The authors are Y. H. Chang, D. I. Chang and S. H. Bhang in the Dept. of Agricultural Machinery Engineering, College of Agriculture, Chungnam National University, Daejeon, Korea. The corresponding author is D. I. Chang, Professor, Dept. of Agricultural Machinery Engineering, College of Agriculture, Chungnam National University, kung-dong 220, Yuseung-gu, Daejeon, 305-764, Korea. E-mail: <dichang@cnu.ac.kr>.

이용하는 사례가 늘고 있으며 그에 대한 연구도 활발히 진행되고 있는 실정이다.

Sarkar와 Wolfe(1985)는 흑백 화상처리 시스템을 이용하여 토마토의 형상, 크기, 색깔, 흠집 등을 검출하는 알고리즘에 대한 연구를 하였다. 또한 Miller와 Delwiche(1989)는 칼라 영상처리시스템을 이용하여 복숭아의 색깔 판정 알고리즘을 제시하였다. Noh 등(1990, 1991)은 영상처리를 이용하여 과일의 둘레, 면적, 장·단축 및 부피 등을 추정하였으며, 사과와 크기의 표면색, 결점 등을 검출하였다. Cho와 Song(1994)은 컴퓨터 시각을 이용하여 잎담배의 기하학적 특징과 색 특징을 추출하여 품질판정 자동화에 이용하였다. Hwang과 Lee(1996)는 두 세트의 영상처리 시스템을 이용하여 건 표고의 외관 품질을 분류하였다.

본 연구의 목적은 홍삼의 선별과정 중 첫 번째 단계인 외형선별을 자동화하기 위해 외형선별 시스템을 구성하고, 외형선별을 위한 영상처리 알고리즘을 개발하여, 과학적이고 신뢰성이 있는 홍삼의 외형선별 시스템을 개발하는 것이다.

2. 재료 및 방법

공시재료는 부여 고려인삼장에서 제조된 홍삼중 1차 선별된 천삼, 지삼, 양삼, 잡삼 각 50지였으며, 공시재료에 의해 홍삼 외형 선별 시스템이 초기화되었다. 외형 선별 전문가에 의해 1차 선별된 별도의 천삼, 지삼, 양삼, 잡삼 각 60지를 이용하여 다른 3명의 외형 선별 전문가와 홍삼 외형 선별 시스템과의 선별 성능이 비교되었다.

홍삼의 외형선별 실험은 2000년 10월 4일부터 10월 10일까지 7일 동안 충남 부여군에 위치한 한국담배인삼공사 부여 고려인삼장에서 실시하였다.

홍삼 외형 선별 시스템은 영상처리 장치에 의하여 홍삼의 영상을 획득하고 컴퓨터의 연산능력을 이용하여 영상정보를 분석하여 홍삼의 외형선별을 자동화할 수 있는 시스템을 개발할 수 있도록 구성하였다.

본 시스템은 Fig. 1과 같이 펜티엄II PC, 영상처리 보드인 DT3153, 칼라 CCD 카메라, 그리고 영상획득장치로 구성되었다.

영상획득장치는 조명상자와 조명 그리고 칼라 CCD카메라로 이루어져 있으며 조명상자는 외부로부터 빛을 차단하고 균일한 광을 제공하기 위해 8각형으로 제작했으며 가로와 세로의 길이는 40cm

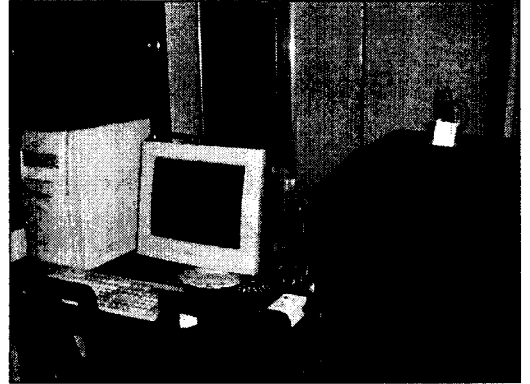


Fig. 1 The appearance of the shape sorting system for Korean Red-Ginseng.

Table 1 Results of Wilcoxon 2-sample Test for a colorimeter and an illumination

L	Wilcoxon 2-Sample Test (Normal approximation) (with continuity correction of 0.5)		
	S=6.00000	Z=-1.79787	Prob> z = 0.0722
T-Test approx. significance = 0.1321			
a ⁺	Wilcoxon 2-Sample Test (Normal approximation) (with continuity correction of 0.5)		
	S=12.0000	Z=0.436436	Prob> z = 0.6625
T-Test approx. significance = 0.687			
b ⁺	Wilcoxon 2-Sample Test (Normal approximation) (with continuity correction of 0.5)		
	S=15.0000	Z=1.74574	Prob> z = 0.0809
T-Test approx. significance = 0.1413			

이고 각 모서리의 길이는 15cm로 제작하였다. 조명은 색상 왜곡이 최소화된 홍삼의 영상을 획득하기 위하여, 시료로부터 50cm 위에, 13W 삼파장램프 4개를 설치하였으며 조도는 2560lx였다. 홍삼의 적색 영상을 획득하기 위하여 적색 색지를 MINOLTA CR-300 Colorimeter로 L, a, b 값을 측정 후, 영상획득장치에 적색 색지를 넣고 위의 조명조건으로 영상을 획득하였고, Wilcoxon 2-sample Test에 의해 L, a, b 값을 비교한 결과는 Table 1과 같다.

Wilcoxon 2-sample test는 종속적인 두 개의 표본이 유의적인 차이를 보이는지의 여부를 결정하기 위한 검증이다. L값의 경우 Wilcoxon 2-sample test에 의해 colorimeter로 측정된 L값과 영상획득장치

로 측정된 L값을 비교한 결과값인 Prob가 0.0722로 T-Test 추정 신뢰값인 0.1321보다 작으므로 비교된 두 값에는 차이가 없는 것으로 검증되었다.

이 연구에서는 홍삼의 외형 선별을 위한 인자로 홍삼의 뇌두부분, 다리의 개수와 표면의 색택으로 설정하였고 영상처리에 의해 정량화 할 수 있도록 하였다.

Fig. 2는 홍삼 외형선별 알고리즘이며 영상을 획득한 후, 경계값 처리로 배경과 홍삼을 분리해 내고, 슬라이딩과 스트레칭기법에 의해 콘트라스트를 개선하였다. 몸통과 뇌두 부분의 경계의 색택의 차이를 이용하여 뇌두를 구분하였고, 원형도를 계산하여 뇌두의 건실함을 분석하였다. 유클리디안법을 이용하여 홍삼의 골격선을 분석하여 다리의 개수를 파악하였다. 슬라이스기법에 의해 붉은색을 강조하여 콘트라스트를 개선하였고 면적과 D_i 를 계산하여 홍삼 색택의 균일성과 색택의 특성을 파악하였다. D_i 는 개선되어진 특정값을 갖는 R값 픽셀들의 분포와 색택정보를 수치화하여 분석한 값이며, 분석된 표면의 색택 정보는 데이터로 저장되어 외형 선별인자의 데이터를 종합하여 등급을 결정할 때 사용할 수 있도록 하였다.

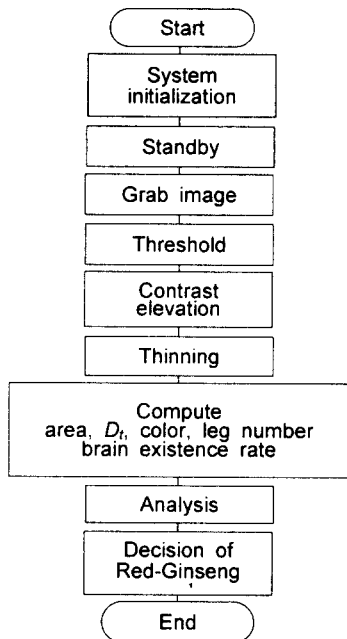


Fig. 2 Flow-chart of algorithm for decision of Korean Red-Ginseng's shape grade.

홍삼의 외형 선별을 위한 프로그램은 National Instrument사의 LabWindows /CVI 5.5 언어로 작성되었으며 프로그램의 주 화면은 Fig. 3과 같다.

홍삼 외형 선별 시스템의 주 프로그램의 실행 순서는 아래와 같다.

- 1) 영상획득장치에서 획득한 영상을 프로그램에서 읽어 들인다.
- 2) 슬라이딩, 스트레칭, 슬라이스기법에 의해 콘트라스트를 개선하고, 영상을 배경과 분리하여 변환시킨다.
- 3) 다리의 개수분석을 위해 유클리디안법을 이용하여 골격선으로 영상을 변환시킨다.
- 4) 변환된 영상을 분석하여 면적값, D_i 값, 표면 상태, 뇌두 존재율, 다리의 개수를 파악한다.
- 5) 분석된 선별 인자들을 정량화하여 각 각의 점수를 합산한 후 등급을 천, 지, 양, 잡삼으로 표시한다.

Fig. 4는 시스템에서 획득된 영상과 R, G, B 레벨 100에서 경계값 처리하여 배경으로부터 홍삼을 분리한 영상이다.

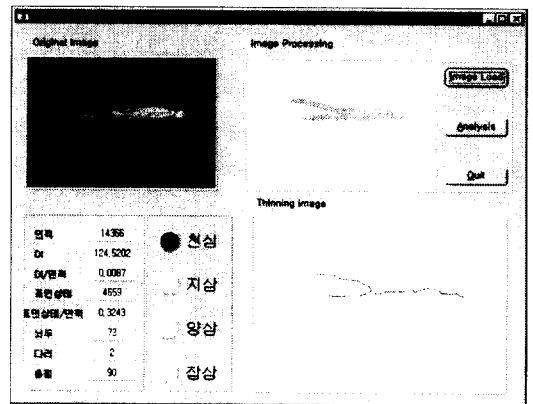


Fig. 3 The main program of the shape sorting system.

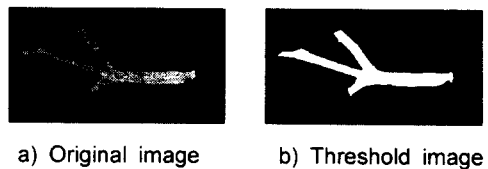


Fig. 4 Original image and threshold image of Korean Red-Ginseng.

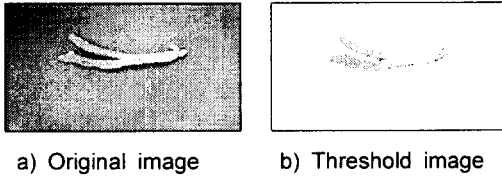


Fig. 5 Original image and sliding & stretching image of Korean Red-Ginseng.

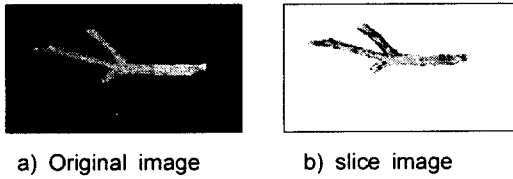


Fig. 6 Original image and slice image of Korean Red-Ginseng.

홍삼의 담적갈색을 나타내는 R, G, B 레벨 100 부터 200까지를 슬라이딩과 스트레칭기법을 이용하여 콘트라스트를 개선하였다. Fig. 5의 a)는 시스템에서 획득된 영상이며, b)는 경계값처리된 영상이 R, G, B 레벨 100에서 200까지 슬라이딩과 스트레칭된 영상이다.

또한 개선된 영상에서 R 레벨이 125에서 190인 픽셀값을 슬라이스기법을 이용하여 담적갈색으로 규정하였고 나머지 픽셀은 결점으로 인식하도록 하였다. Fig. 6은 슬라이스기법이 이용된 영상으로 R레벨 125~190이 슬라이스되었다.

홍삼의 영상을 분석하기 위해 특정값을 갖는 픽셀들의 분포를 수치화하여 분석하기 위해 직교좌표와 평균편차를 이용하여 픽셀들의 분포 정도를 아래의 식들을 이용하여 D_i 로 수치화 하였다.

특별히 식(3)에서 식(1)과 식(2)의 값을 곱하여 수치화한 이유는 특정값을 갖는 픽셀들의 분포가 위치와 방향에 관계없이 분포되어져 있는 정도에 따라서만 수치가 변화하도록 하기 위함이었다(Chang 등, 1997).

$$D_x = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n \left[\frac{1}{p} \sum_{i=1}^p |x_{i,j} - \bar{x}_j| \right] \quad (1)$$

여기서, D_x = 특정값을 갖는 pixel들의 x 좌표에 대한 평균편차

p = j 행의 pixel들 중에서 특정값을 갖는 pixel의 수

n = 이미지의 행의 총수

$x_{i,j}$ = 특정값을 갖는 i 열 j 행 pixel의 x 좌표

\bar{x}_j = j 행의 pixel들 중에서 특정값을 갖는 pixel들의 x 좌표 평균

$$D_y = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n \left[\frac{1}{q} \sum_{j=1}^q |y_{i,j} - \bar{y}_i| \right] \quad (2)$$

여기서, D_y = 특정값을 갖는 pixel들의 y 좌표에 대한 평균편차

q = i 열의 pixel들 중에서 특정값을 갖는 pixel의 수

n = 이미지의 열의 총수

$y_{i,j}$ = 특정값을 갖는 i 열 j 행 pixel의 y 좌표

\bar{y}_i = i 열의 pixel들 중에서 특정값을 갖는 pixel들의 y 좌표 평균

$$D_i = D_x \times D_y \quad (3)$$

여기서, D_i = 수치화된 값

D_x = 특정값을 갖는 pixel들의 x 좌표에 대한 평균편차

D_y = 특정값을 갖는 pixel들의 y 좌표에 대한 평균편차

defects는 개선된 영상에서 R 레벨이 125이하와 190이상인 픽셀값의 합으로 규정하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

가. 뇌두분석

획득한 영상을 슬라이딩과 스트레칭 기법에 의해 콘트라스트를 개선한 후 경계값 처리로 배경과 홍삼을 분리했다. 몸통과 뇌두 부분의 경계의 색택의 차이를 이용하여 뇌두를 구분하였고, 원형도를 계산하여 뇌두의 건설함을 분석하였다.

분석된 홍삼의 뇌두는 Fig. 7과 같으며, 그 때의 뇌두의 존재율을 백분율로 표시하였다.

Fig. 7에서 알 수 있듯이 몸통과 뇌두 부분에 굴곡에 의해 선택의 차이가 있음을 알 수 있었고, 그러한 특징을 이용하여 선택의 분포가 급격히 변화하는 부분부터 뇌두 부분으로 인식하였다.

나. 다리 분석

영상을 획득한 후, 앞에서와 같이 전처리 과정을 거쳐 배경과 홍삼을 분리해 낸다. 배경과 분리된 홍삼의 영상을 유클리디안법을 이용하여 홍삼의 골격선을 분석하여 다리의 개수를 파악하게 된다.

Fig. 8은 배경과 분리된 홍삼의 영상과 유클리디안법에 의해 추출된 골격선의 영상이다.

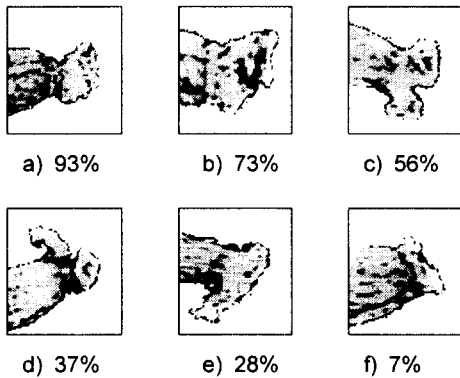


Fig. 7 The images of the head part analyzed using image processing.

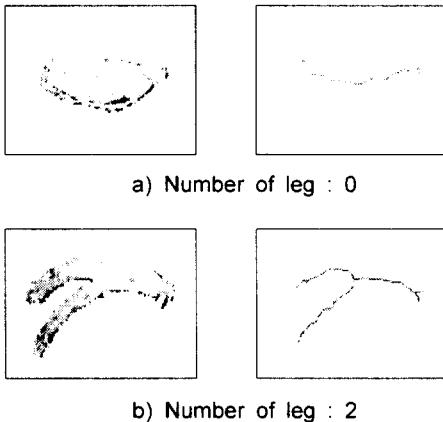


Fig. 8 The images of Korean Red-Ginseng and their centerline.

그림에서 다리가 없는 것과 다리가 1개인 것과 의 구분은 홍삼의 다리의 특성이 몸통부분과는 다르게 갈변화가 잘 발생한다는 성질을 이용하였으며, 다리가 나뉘어지지 않았다면 선택 정보를 이용하여 구분하도록 하였다.

다. 표면선택 분석

영상을 획득한 후, 경계값 처리로 배경과 홍삼을 분리해 낸 후, 슬라이딩과 스트레칭 기법과 슬라이스 기법에 의해 붉은색을 강조하여 콘트라스트를 개선하였다. 면적과 D_t 를 계산하여 홍삼의 선택 특성을 정량화하였고, 선택의 차이를 이용하여 표면의 흠집과 황피, 백피 등을 고려하여 선택의 균일성을 정량화하였다.

D_t 는 개선되어진 특정값을 갖는 R값 픽셀들의 분포와 선택정보를 수치화하여 분석한 값이며, 개선된 영상에서 R 레벨이 125에서 190인 픽셀값을 슬라이스 기법을 이용하여 담적갈색으로 규정하였고 나머지 픽셀은 결점으로 인식하도록 하였다.

Fig. 9~12는 1차 외형 선별된 천·지·양·잡삼의 D_t 값을 면적값으로 나눈 그래프이다. 샘플에 따른 데이터 값을 분석한 결과에 의하면, 대체적으로 고른 분포를 하고 있지는 않지만 천삼은 0.03~0.04, 지삼은 0.02~0.04, 양삼은 0.02이하와 0.04이상에, 잡삼은 0.02이하와 0.05이상에 데이터가 정렬해 있음을 알 수 있었다. 현행의 외형 선별 공정시 천삼의 수율을 향상시키기 위하여 어느 정도의 황피를 허용하고 있기 때문에 천삼의 경우 황피가 거의 없는 다른 데이터들과 차이가 생기는

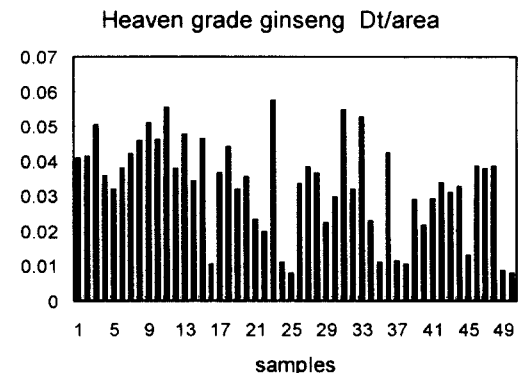


Fig. 9 The D_t /area values of the heaven grade ginseng images.

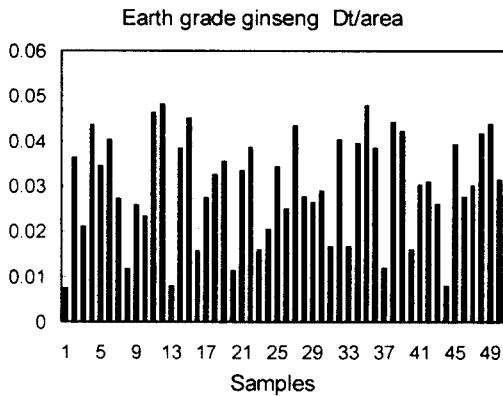


Fig. 10 The $D_t/area$ values of the earth grade ginseng images.

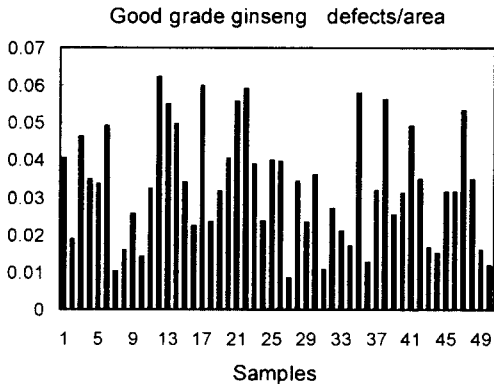


Fig. 11 The $D_t/area$ values of the good grade ginseng images.

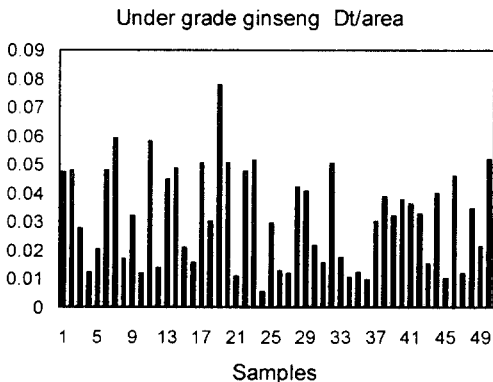


Fig. 12 The $D_t/area$ values of the under grade ginseng images.

것으로 사료되며, 지삼의 경우는 천삼의 형태와 거의 유사하나 다리가 1개인 경우가 대부분이므로 0.02에서 0.03부분에도 값이 분포하는 것으로 사료된다. 천삼의 주범위인 0.03에서 0.04 범위에 양삼의 데이터가 존재하는 이유는 영상으로 획득되지 못한 반대편 부분에 있는 결점 때문인 것으로 사료된다.

Fig. 13~16은 1차 외형 선별된 천·지·양·잡삼의 표면상태값을 면적값으로 나눈 그래프이다. 천삼은 0.04~0.06, 지삼도 0.04~0.06, 양삼은 0.06~0.08, 잡삼은 0.06~0.1의 범위에 데이터가 분포해 있음을 알 수 있었다. 천삼의 경우 몇 개의 범위를 넘는 데이터들은 영상 획득시 다리부분이 겹쳐져서 다리 경계부분을 균열로 파악하여 표면의 선택값이 높게 측정된 것으로 사료되어진다. 양삼에서 0.08범위 이상인 데이터의 경우는 백피와 황

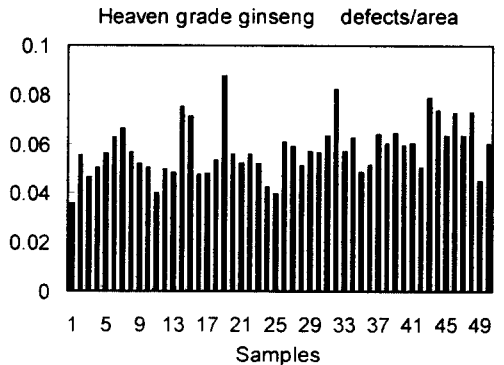


Fig. 13 The defects/area values of the heaven grade ginseng images.

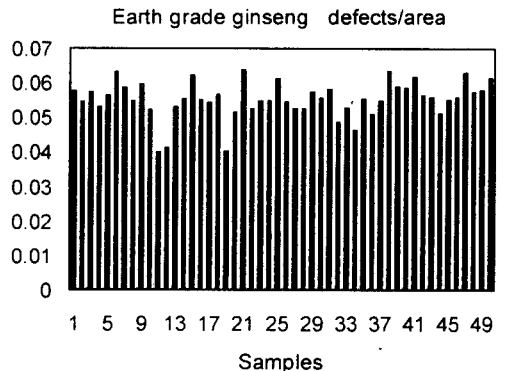


Fig. 14 The defects/area values of the earth grade ginseng images.

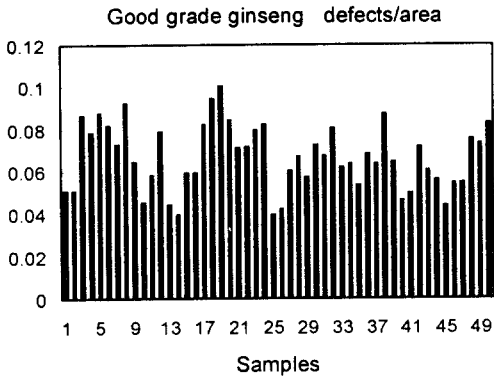


Fig. 15 The defects/area values of the good grade ginseng images.

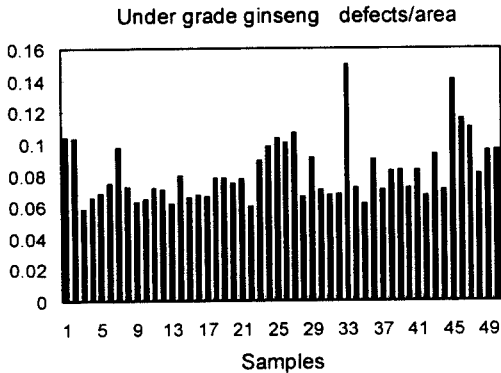


Fig. 16 The defects/area values of the under grade ginseng images.

피가 많아 지삼에서 등급이 양삼으로 떨어진 경우로 사료된다. 잠삼에서 0.06 근처의 값들이 나온 이유는 표면 색택이 좋은 면의 영상으로 반대편에 백피와 황피가 많이 분포하고 있는 것으로 확인되었다.

외형 선별은 하나의 인자에 의해서가 아니라 각각의 인자들이 복합적으로 영향을 끼쳐서 이루어지게 된다. 한국담배인삼공사의 부여 고려인삼장에서 행해지고 있는 외형 선별의 관행 검사기준과 실험 결과를 검토하여 Table 2와 같이 홍삼의 외형선별에 큰 영향을 미치는 인자로 설정된 뇌두, 다리, 색택 등을 종합한 합을 100점을 만점으로 하여 뇌두의 존재율에 30점을, 다리의 개수에 15점을, 색택의 균일도에 15점을, 표면의 상태에 40점으로 가중치를 주어 정량화 하였다.

라. 홍삼 외형선별 성공률

정량화된 외형선별 인자들을 이용하여 홍삼 외형선별 프로그램을 작성하였고, 1차외형선별 전문가에 의해 판정된 천, 지, 양, 잠삼 각 60지를 이용하여 다른 외형선별 전문가와 외형선별 시스템과의 성능을 비교하였다.

Table 3은 외형선별 전문가 3인과 외형선별 시스템과의 성능을 비교한 것이다.

홍삼의 외형 선별 시스템의 선별 정확도는 74.7%로 나타났으며, 검사원들의 육안 판정의 평균값인 95.8%와 비교했을 경우에 21.1%의 선별율 차이를 보였다.

Table 2 Quantification of shape sorting factors

Sorting factors	D_1 /area (A)	Defects/area (B)	Existence rate of the head (C%)	Leg number (D)
Range of grade	[15]	[40]	[30]	[15]
[*X=A+B+C+D]	· $0.03 \leq A < 0.04$: 15	· $0.04 \leq B < 0.06$: 40	· $C \geq 90$: 30	· $D \geq 4$: 0
· Heaven grade ginseng : $X \geq 85$	· $0.04 \leq A < 0.05$: 10	· $0.03 \leq B < 0.04$: 30	· $80 \leq C < 90$: 25	· $D = 3$: 15
· Earth grade ginseng : $X \geq 70$	· $0.02 \leq A < 0.03$: 10	· $0.06 \leq B < 0.08$: 30	· $70 \leq C < 80$: 20	· $D = 2$: 15
· Good grade ginseng : $X \geq 60$	· $0.05 \leq A < 0.06$: 5	· $0.02 \leq B < 0.03$: 10	· $60 \leq C < 70$: 15	· $D = 1$: 5
· Under grade ginseng : $X < 60$	· $A \geq 0.06$: 0	· $0.08 \leq B < 0.10$: 10	· $50 \leq C < 60$: 10	· $D = 0$: 5
	· $A < 0.02$: 0	· $B < 0.02$: 0	· $C < 50$: 0	
		· $B \geq 0.1$: 0		

Table 3 Comparison of manual sorting and mechanical sorting for Korean Red-Gingeng

Grade Sorting system	Heaven grade (60)	Earth grade (60)	Good grade (60)	Under grade (60)
Expert A	96.7% (58)	98.3% (59)	90.0% (54)	100.0% (60)
Expert B	90.0% (54)	96.7% (58)	91.7% (55)	100.0% (60)
Expert C	91.7% (55)	100.0% (60)	95.0% (57)	100.0% (60)
Shape sorting system	71.7% (43)	88.3% (53)	63.3% (38)	75.0% (45)

이러한 이유는 홍삼의 영상획득 범위가 한쪽면에 국한되었기 때문에 전체적인 홍삼의 외형정보를 분석하지 못했기 때문이라고 생각되어지며 2대 이상의 카메라를 이용하여 홍삼의 전체적인 외형을 분석할 수 있는 외형 선별 시스템을 이용한다면 검사원의 육안판별 결과와 거의 일치할 것으로 생각되어진다.

4. 요약 및 결론

본 연구에서는 외형선별을 자동화하기 위해 외형선별 시스템을 구성하고, 외형선별을 위한 영상처리 알고리즘 개발하여 과학적이고 객관성이 있는 홍삼의 외형선별 시스템을 개발하는 것을 목적으로 하였고, 그 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 관행의 홍삼 검사 기준과 인삼산업법 시행규칙의 인삼류 및 인삼종자·종묘의 검사기준의 홍삼선별기준을 검토하여 뇌두와 다리의 수, 선택, 백피·황피 등의 외부 결함 등의 인자들을 선택하여 홍삼의 외형을 선별할 수 있도록 알고리즘을 개발하였다.
- 2) 뇌두 부분의 분석은 몸통과 뇌두 부분의 경계의 선택의 차이를 이용하여 구분하였고, 원형도를 계산하여 뇌두의 유무와 건실함을 분석하였다.
- 3) 다리 부분의 분석은 배경과 분리된 홍삼의 영상을 유클리디안법을 이용하여 홍삼의 골격선을 분석하여 다리의 개수를 파악하게 된다.
- 4) 표면의 선택 분석은 붉은색을 강조하여 콘트라스트를 개선한 후, 면적과 D_i 를 계산하여 홍삼

의 표면 선택 특성을 정량화 하였고, 선택의 차이를 이용하여 표면의 흠집과 황피, 백피 등을 고려하여 선택의 균일성을 정량화하였다.

5) 홍삼의 외형 선별 시스템의 선별 정확도는 74.7%로 나타났으며, 검사원들의 육안 판정의 평균값인 95.8%와 비교했을 경우에 21.1%의 선별율 차이를 보였다.

참 고 문 헌

1. Chang, D. I., H. H. Chang and Y. I. Lim. 1997. Classifying thermoregulatory behavior of pigs by image processing. J. L. H. E. 3(2):105-113.
2. Chang, D. I., Y. I. Lim, J. T. Lim, Y. H. Chang and H. H. Chang. 1999. Identification of discrimination factors for a pig Noncontact weighing system using image data. J. L. H. E. 5(2):93-100.
3. Cho, H. K. and H. K. Song. 1994. Extraction of geometric and color features in the tobacco-leaf by computer vision. J. of KSAM 19(4):380-396.
4. Hwang, H. and C. H. Lee. 1996. Development of a prototype automatic sorting system for dried oak mushrooms. J. of KSAM 21(4):414-421.
5. Miller, B. K. and M. J. Delwiche. 1989. A Color vision system for peach grading. Transactions of the ASAE. 32(4):1484-1490.
6. Noh, S. H., K. H. Ryu and S. M. Kim. 1991. Classification of apple coloration using image processing system. J. of KSAM 16(3):272-280.
7. Noh, S. H., K. H. Ryu and Y. W. Kim. 1990. Measurement of geometrical characteristics of fruit by image processing system. J. of KSAM 15(1): 23-27.
8. Sarkar, N. and R. R. Wolfe. 1985. Feature extraction technique for sorting tomatoes by computer vision. Transactions of the ASAE. 28(3):970-979.
9. 박승제의 4인. 1998. 인삼의 최적 건조 및 품질 자동평가시스템 개발. 농림부.
10. 장동일, 강호양, 성장근. 1999. 최고급 품질의 홍삼제조를 위한 공정개발. 연차연구보고서. 농림기술관리센터.