

컴퓨터 시각에 의한 사과 결점 검출†

Detection of Apple Defects Using Machine Vision

서 상 룡* 성 제 훈*
정희원 정희원
S. R. Suh J. H. Sung

ABSTRACT

This study was to develop a machine vision system to detect and to discriminate 5 kinds of apple surface defect - bruise, decay, fleck, worm hole and scar. To detect the defects from an image of apple, thresholding technique was applied to images on various frames (R, G, B, H, S and I) of the color machine vision and an image of near infra-red (NIR).

To discriminate the detected region of defect, various features of the 5 kind defect regions were extracted from the 4 kinds of images selected above. The features were size of area, roundness, axes length ratio, mean and variance of pixel values, standard deviation of real part of amplitude spectrum in frequency domain obtained by Fourier transform of pixel data and mean and standard deviation of power spectrum obtained by the same transform of pixel data. Routines to discriminate the defects from the features of image were developed and tested to prove their validity. The test resulted that I-frame and NIR images were the most desirable. Accuracies of the two images to discriminate the defects were noted as 76% and 77%, respectively.

주요용어 (Key Words): 결점(Defect), 사과(Apple), 기계시각(Machine Vision), 근적외선(NIR)

1. 서 론

농산물 선별에 있어 결점은 농산물 저장성 또는 유통성과 고품위 유지의 관점에서 농산물 표면 색깔 못지않게 중요한 인자이다. 따라서 농산물 선별시 결점의 검출은 절대로 필요한 작업이나 이는 많은 노동력을 요하기 때문에 이 작업의 기계화가 절실히 요구되고 있다. 그러나 농산물 결점의 형태는 매우 다양할 뿐만 아니라 그 크기도 일정하지 않으므로 이를 기계화하는 것은 쉽지 않다.

이러한 농산물 결점을 검출하는 장치를 개발하기

위하여 몇 연구가에 의해 수종의 방법이 시도된 바 있는데, 그 중 가장 가능성이 높은 방법은 최근 그 용도가 확장되고 있는 컴퓨터 시각에 의한 방법이다. 이에 관한 초기 연구로서 Dewiche 등(1990)은 line-scanning 카메라를 사용한 컴퓨터 시각 장치를 이용하여 자두의 결점을 검출하려고 시도한 바 있다. 이어서 Throops 등(1989)은 최근 그 사용이 보편화된 흑백의 area-scanning 카메라를 사용한 컴퓨터 시각을 이용하여 사과 내부의 밀병(watercore)를 검출하려고 하였는데, 그들은 컴퓨터 시각을 이용하여 사과의 밀도를 추정하거나 사과 내부를 투과한 광량

† 본 연구는 한국과학재단에서 지원한 목적기초연구로 수행되었음.

* 전남대학교 농과대학 농공학과

으로부터 사과 밀병의 존재 여부를 판단하고자 하였으며, 그 결과 사과 밀병의 존재 여부를 높은 신뢰도 수준에서 파악하였으나 밀병의 크기는 결정할 수 없었다.

컴퓨터 시각을 이용하여 농산물의 결점을 검출하려는 최근의 연구는 컬러 컴퓨터 시각장치 또는 특수한 카메라를 이용한 컴퓨터 시각장치를 이용하는 방향으로 추진되고 있다. Shearer와 Payne(1990)은 컬러 컴퓨터 시각을 사용하여 벨 페퍼의 결점을 검출하였으며, 그 결과 63%의 정밀도 수준에서 벨 페퍼의 결점을 검출하였다. Delwiche 등(1990), Miller와 Delwiche(1991), Wulfsohn 등(1993)은 근적외선 (near infra-red) 영역에서 포착한 영상이 과일 결점 분석을 위하여 매우 효과적인 것으로 보고한 바 있다. 실제로 Miller와 Delwiche(1991) 그리고 Singh 등(1993)은 근적외선 카메라를 사용하여 복숭아의 결점의 크기를 구하고 결점의 종류를 판단하기 위하여 실험하였으며 그 결과, 결점의 크기 결정에 있어서는 육안작업 결과와 비교할 때 상관계수 0.56-0.92 수준, 그리고 결점 종류 판단에 있어서는 31-40%의 오차율을 갖는 것으로 보고한 바 있다.

컴퓨터 시각을 이용하여 사과의 결점을 검출하는 작업은 먼저 결점이 있는 표면 영역을 정상적인 표면으로부터 분리하는 작업이다. 그런데 국내에서 가장 많이 생산되고 있는 후기 품종 사과의 경우 사과 표면의 색깔은 사과의 속도와 관련된 적색 또는 적갈색이 황색의 바탕위에 국부적으로 불규칙한 형상을 갖고 분포하므로 컴퓨터 시각 화면에서 이들은 타박상과 부패와 같은 결점과 혼동될 가능성이 아주 많다. 따라서 후기 사과의 경우 이러한 결점 영역의 분리과정은 신중하게 수행되어야 할 것이다.

정상적인 사과 표면으로부터 분리한 결점 부분은 다음 단계로서 그 종류와 크기를 분석하여 이를 선별의 기본자료로 활용할 수 있도록 하여야 할 것이다. 사과 결점의 원인은 부패, 병충해, 기계적 손상 등을 들 수 있으며 그에 따라 결점의 종류도 타박상, 부패, 반점, 벌레구멍, 긁힘 등 여러가지 종류로 분류되는데, 이러한 수준의 결점 중 어떤 종류의 결점은 선별과정에서 선별의 수준에 따라 신중하게 고려

되거나 무시될 것이므로 그 종류와 크기를 분석할 필요가 있다.

이상의 내용을 고려하여, 본 연구는 컴퓨터 시각을 이용하여 사과의 결점을 검출하는 사과 선별의 기초 연구로서, 첫째 사과의 결점 가능 영역을 사과 영상으로부터 효과적으로 분리하는 방법을 모색하고, 둘째 결점의 분류를 위하여 각종 결점의 특징을 추출한 다음, 셋째 이 특징을 이용하여 결점을 분류하는 방법을 찾는 목적을 갖고 본 연구를 수행하였다.

2. 재료 및 방법

가. 결점 영역 분리

정상적인 사과 표면으로부터 결점 영역을 효과적으로 분리하는 방법을 찾기 위하여 본 연구에서는 컬러 컴퓨터 시각과 근적외선 카메라를 이용한 컴퓨터 시각을 사용하였다. 본 연구에서 사용한 컬러 컴퓨터 시각장치는 미국 Imaging Technology사의 CFG frame grabber와 일본 Sony사의 Video Camera(model : CCD-F380)로 구성된 것이고, 조명장치는 3파장 N형 형광등(금호전기(주)의 FL 20S EX-N/18) 3개를 광원으로 한 것이다.

근적외선 카메라를 이용한 컴퓨터 시각장치는 미국 Pulnix사의 CCD 카메라(model : TM-745E)와 미국 Imaging Technology사의 CFG frame grabber로 구성된 것으로서, Pulnix사의 CCD 카메라는 카메라에 내장된 적외선 차단 목적 필터(infra-red cut filter)를 분리할 수 있는 구조의 것이었다. 본 연구에서는 이 카메라의 적외선 차단 목적 필터를 분리한 다음 렌즈에 파장 750 ± 20 nm의 대역 필터를 부착하여 해당 범위의 근적외선만을 통과시켜 영상을 포착하도록 하였다. 이상의 두 가지 컴퓨터 시각장치를 위한 영상처리 알고리즘의 전반적인 내용은 서 등(1992)에서 설명한 바와 같다.

컬러 컴퓨터 시각은 R G B(적색, 녹색, 청색) 또는 H S I(색상, 채도, 명도)의 3 가지 기초 화면으로 구성되고, 화상의 색깔은 그에 따라 RGB 또는 HSI의 2

가지 표색계로 표현되는데, 이 두 가지 표색계는 소프트웨어에 의해 상호 변환이 가능하므로 결과적으로 컬러 컴퓨터 시각에 의해서는 R, G, B, H, S, I의 6종 화면의 영상을 얻을 수 있다. 그리고 본 연구에서는 전술한 바와 같이 근적외선 영상 획득이 가능하므로서 근적외선 화면(이하 NIR 화면으로 약칭함)을 포함하여 총 7종 화면을 연구대상 화면으로 하였다.

사과 영상으로부터 결점일 것으로 판단되는 영역을 분리하기 위해서는 몇가지 방법이 있으나 가장 가능성이 많은 방법은 입력 LUT(look up table)에 임계화소값을 적용하는 thresholding 기법이다. 이는 컴퓨터 시각에서 관심대상영역(AOI: area of interest)만을 분리하는데 기본적으로 사용하는 방법으로서, 본 연구 신청자가 수행한 예비실험에 있어서도 이용 가능성이 높은 것으로 확인된 방법이다.

임계화소값에 의해 사과 영상으로부터 결점 영역을 분리하기 위해서는 결점 영역의 화소값이 정상적인 사과 표면의 화소값과 큰 차이가 있을 수록 바람직하다. 본 연구에서는 검출 대상 사과의 결점 종류를 국내산 사과에서 발생빈도가 높은 타박상, 부패, 반점, 벌레구멍, 굵힘의 5종으로 결정하였다. 그리고 사과 영상으로부터 결점 영역을 효과적으로 분리하는 방법을 찾기 위하여 본 연구에서는 전술한 7종의 화면에서 검출하고자 하는 5종의 결점을 대상으로 각각 그 화소값 분포 범위를 실험에 의해 조사한 다음 이를 정상적인 사과 표면의 화소값 분포 범위와 비교하여 결점 영역 분리에 바람직한 화면을 선발하고자 하였다. 실험은 1995년 전남산 후지 사과를 대상으로 정상적인 사과 표면은 총 131개 그리고 5종의 결점에 대해서는 각 20개의 시료를 선택하여 수행하였다.

나. 결점 분류를 위한 결점 특징 추출

위에서 선발한 화면에서 정상적인 사과 영상으로부터 결점 영역을 분리하면 그 종류를 분류하기 위하여 결점 부분의 특징을 추출(feature extraction)하여야 한다. 결점 부분의 특징은 기하학적 그리고 광

학적 자료로부터 추출할 수 있다.

결점의 여러가지 기하학적 특징 중 본 연구에서는 결점 영역의 넓이(size, SZ), 원형도(roundness, RDN), 장단변비(axes length ratio, ALR) 3가지를 관찰 대상으로 결정하였다. 여기서 결점 영역의 원형도는 다음 식에 의해 구한 것으로서 결점 영역이 원에 근사할 수록 그 값은 1에 근접하는 특성이 있다. 결점 영역의 장단변비는 결점 영역의 중심점으로부터 결점 영역의 모든 외곽선 화소까지 직선거리를 비교하여 최장 그리고 최단 거리를 구한 후 그 비를 구한 것이다.

$$R = 4\pi A / L^2 \dots\dots\dots (1)$$

- 여기서 R = 결점 영역의 원형도
- A = 결점 영역의 넓이
- L = 결점 영역의 외각선 길이

결점의 광학적 특징은 결점 영역에서의 화소값으로부터 추출할 수 있다. 즉 위에서 선발한 각 화면에서 화소값의 평균값(mean of pixel value, MPV), 분산(variance of pixel value, VPV), 경사도(gradient) 그리고 표면결(texture) 등이 특징 추출 관련 인자인데, 본 연구에서는 화소값의 평균과 표준편차 그리고 표면결 관련 인자를 광학적 특징 추출 관련 인자로 결정하였다. 결점의 표면결 분석은 사과 표면의 타박상 부분이나 부패된 부분의 표면결이 정상적인 사과의 표면결과 다르다는 가정하에서 결점을 분류하기 위한 방법이다. 여러가지 영상처리기법 중 표면결을 분석하기 위해서는 Fourier 변환에 의한 주기성 분석(frequency domain analysis)이 바람직하며, 본 연구에서는 이러한 기법을 이용하였다.

Fourier 변환을 영상 자료에 적용하는 방법은 1차원 또는 2차원 변환법이 있는데, 본 연구에서는 분석의 편의상 1차원 변환법을 적용하였다. 이는 2차원으로 표현되는 결점 영역의 영상 자료에 있어 전술한 기하학적 분석에서 얻은 결점 영역의 도심과 장변에 대한 정보를 이용하여 도심 부근의 최장변을 찾고 그 장변상의 화소값을 대상으로 1차원 Fourier

변환하는 방법이였다.

영상 자료의 1차원 Fourier 변환은 근본적으로 표면결의 성질을 나타내는 화소값 변화의 주기적 특성(주기성)을 파악하기 위한 것으로서 그 변환 결과는 길이 차원 주기성 스펙트럼(spatial frequency spectrum)이다. 사과 결점의 종류에 따라 차이가 있을 것으로 예상되는 이 스펙트럼은 Fourier 변환한 화소수와 같은 수의 실수 부분과 허수 부분의 수치 자료로 표현되고 이 자료로부터 파워 스펙트럼(power spectrum)을 구할 수 있다.

본 연구에서는 연구 대상인 5종의 사과 결점 영역에 대하여 1차원 Fourier 변환을 실시한 후 그 결과를 분석한 결과 스펙트럼의 실수 부분 자료의 표준편차(variance of real part of spacial frequency spectrum, VRS) 그리고 파워 스펙트럼의 평균값과 표준편차(mean and variance of power spectrum, MPS and VPS)가 결점의 종류를 분류하는데 유용함을 알게 되어 이들을 결점 영역의 특징을 나타내는 기초 자료로 활용하였다.

다. 결점의 분류

전술한 결점영역의 특징을 분석한 후 이를 이용하여 최종적으로 결점의 종류를 구분하는 추론 과정을 개발하였다. 이는 추출한 결점의 특징을 조직적으로 검색하는 과정으로서 먼저 연구대상인 5가지 결점에 있어 전술한 각 결점의 기하학적 그리고 광학적 특성을 조사하여 비교하였다. 그 결과 결점간 차별화를 가능케 하는 특성을 찾은 다음 이들을 순차적으로 검색하는 방법(heuristic search method)을 개발하였다.

여기서 구한 검색방법에 대해서는 실험에 의해 그 정당성을 검증하였다. 실험은 육안으로 판단한 사과 결점을 대상으로 본 연구에서 개발한 방법에 의해 결점의 종류를 식별한 후 그 결과를 육안으로 판단한 내용과 비교하는 방법으로 수행하였다. 이는 1995년 산 후지 사과의 총 113개의 사과 결점(각 결점별로는 11~32개)을 재료로 수행하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 결점 영역 분리

컬러 컴퓨터 시각의 R, G, B 3가지 화면과 H, S, I 및 NIR의 4가지 화면에 나타난 5종의 사과 결점과 정상적인 사과 표면의 화소값 분포를 나타낸 것은 각각 그림 1과 그림 2와 같다. 그림에서 실선으로 나타낸 화소값의 분포 범위는 조사한 5종의 결점 그리고 정상적인 사과 표면의 화소값 자료를 통계 분석하여 그 평균값(x)과 표준편차(s)를 구한 후 $x \pm 2s$ 의 범위 (관측값의 95.9%가 포함되는 범위)로 나타낸 것이다. 이 자료를 이용하여 각 화면별로 결점영역 분리의 용이성을 검토한 결과는 다음과 같다.

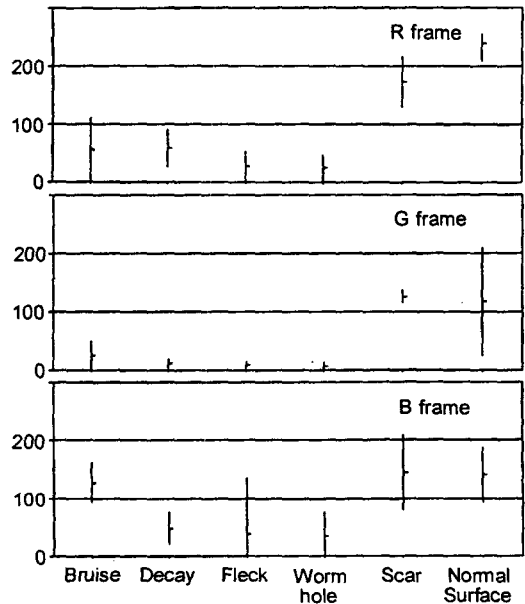


Fig. 1 Distribution of pixel values from five kinds of defected and normal apples in R, G and B frames.

R 화면에서 타박상, 부패, 반점, 벌레구멍의 화소값은 그림과 같이 110 미만의 범위에 분포하고 굵힘은 128~217 범위에 분포한 반면 정상적인 사과 표

면의 화소값은 208 이상의 범위에서 분포하므로서 R화면에서 사과 결점의 분리는 비교적 용이하게 수행할 수 있을 것으로 예상되었다.

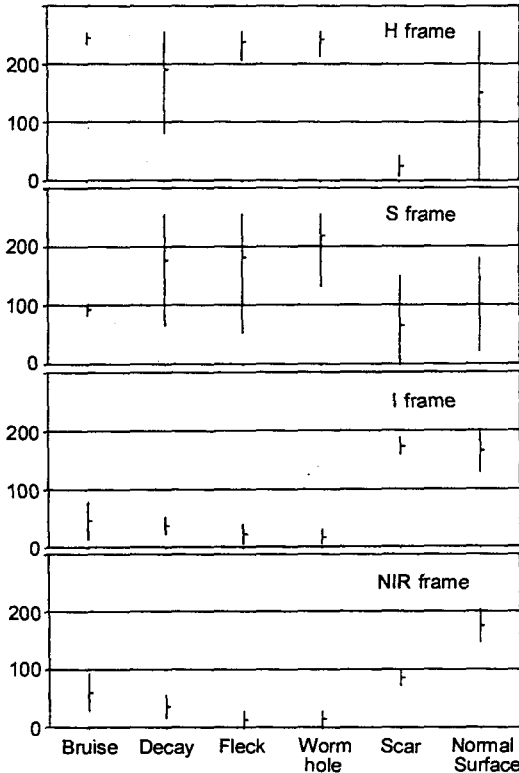


Fig. 2 Distribution of pixel values from five kinds of defected and normal apples in H, S, I and NIR frames.

G 화면에서 타박상, 부패, 반점 그리고 벌레구멍의 화소값은 49 미만의 범위에 분포하고 굵힘은 115~137의 범위에 분포하였는데 정상적인 사과 표면의 화소값은 24~210의 범위에 분포하므로서 굵힘을 제외한 나머지 4종의 결점은 대체로 용이하게 분리할 수 있으나 굵힘은 정상적인 표면으로부터 분리하는 것이 어려울 것으로 판단되었다.

B 화면에서 부패, 반점 그리고 벌레구멍의 화소값은 135 미만의 범위에서 분포하였으나 타박상과 굵힘은 79~209의 범위에 분포하였다. 그런데 정상적인 사과 표면의 화소값은 94~187의 범위로서 결과

적으로 B 화면에서 타박상과 굵힘을 정상적인 화면으로부터 분리하는 것이 용이하지 않을 것임을 알 수 있었다.

H 화면에서 타박상의 화소값은 234 이상 그리고 반점과 벌레구멍의 화소값은 206 이상의 범위에서 분포하였으나 부패는 80 이상 그리고 굵힘은 43 미만에 분포하였다. 반면 정상적인 사과 표면의 화소값은 0~256의 전구간에 분포하므로서 모든 결점의 분리는 쉽지 않으므로 H 화면은 사과 결점 영역을 분리하는데 바람직하지 않음을 알 수 있었다.

S 화면에서 벌레구멍을 제외한 나머지 사과 결점의 화소값은 그림과 같이 정상적인 사과 표면의 화소값과 서로 상당부분이 겹치므로 이 또한 사과 결점 영역을 분리하는데 적합하지 않은 화면으로 판단하였다.

I 화면에서 굵힘을 제외한 나머지 결점인 타박상, 부패, 반점 그리고 벌레구멍의 화소값은 모두 78 미만에서 분포한 반면 정상적인 사과 표면의 화소값은 127~203 범위에 분포하므로서 이들 결점의 영역은 명확히 분리할 수 있었다. 다만 굵힘의 화소값은 158~189범위에 분포하므로서 정상적인 사과 표면으로부터 분리하는 것이 쉽지 않을 것으로 예상되었다.

NIR 화면에서 조사한 5종 결점의 화소값의 분포 범위는 그림과 같이 정상적인 사과 표면의 화소값 분포 범위와 큰 차가 있으므로 결과적으로 관심 대상의 결점 영역은 모두 정상적인 사과 표면으로부터 명확히 분리할 수 있음을 알 수 있었다. 그리고 이러한 NIR화면의 사과 정상 표면으로부터 결점의 분리 기능은 지금까지 설명한 다른 화면보다 월등히 우수함을 알 수 있었다.

이상의 실험 결과를 종합하면, 실험한 7가지 화면에 있어 결점의 영역을 분리하는 기능은 결점의 종류에 따라 화면별로 차이가 있으나 실험한 7가지 화면 중 R, G, I 그리고 NIR화면이 나머지 다른 화면에 비하여 우수한 것으로 나타났으며 특히 NIR화면은 실험한 7가지 화면 중 가장 우수한 것으로 나타났다.

나. 결점의 특징 추출

연구 방법에서 설명한 바와 같이 결점의 특징을 나타내는 요인은, 결점 영역의 기하학적 성질인 넓이, 원형도, 장단변비, 3가지 인자와 광학적 성질인 화소값의 평균값과 표준편차 그리고 Fourier변환 후 얻은 자료인 스펙트럼 실수 부분의 표준편차 그리고 파워 스펙트럼의 평균값과 표준편차인 5가지 인자였다.

본 연구에서는 앞에서 설명한 R, G, I, NIR의 4개 화면에서 연구 대상의 5가지 사과 결점을 대상으로 이상의 8가지 결점 특징 분석 인자값의 분포 범위를

조사하였으며 그 결과는 각각 그림 3, 그림 4, 그림 5, 그림 6과 같다.

다. 결점의 분류

결점의 종류를 분류하기 위해서는 결점 특징 분석 인자의 값이 가능한 결점별로 차가 있는 것이 바람직하다. 그런데 그림과 같이 결점 특징 분석 인자의 값은 화면 종류에 따라 결점 간 큰 차이를 보이거나 또는 별다른 차이가 없는 것으로 나타났는데 화면별로 결점의 종류를 구별하는 방법을 모색한 결과는 다음과 같다.

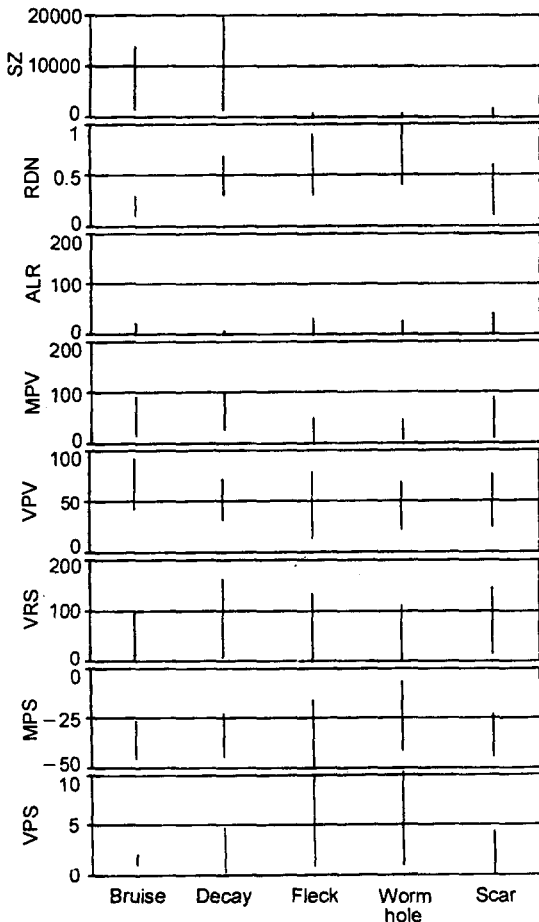


Fig. 3 Range of the parameters to detect the defects in R frame.

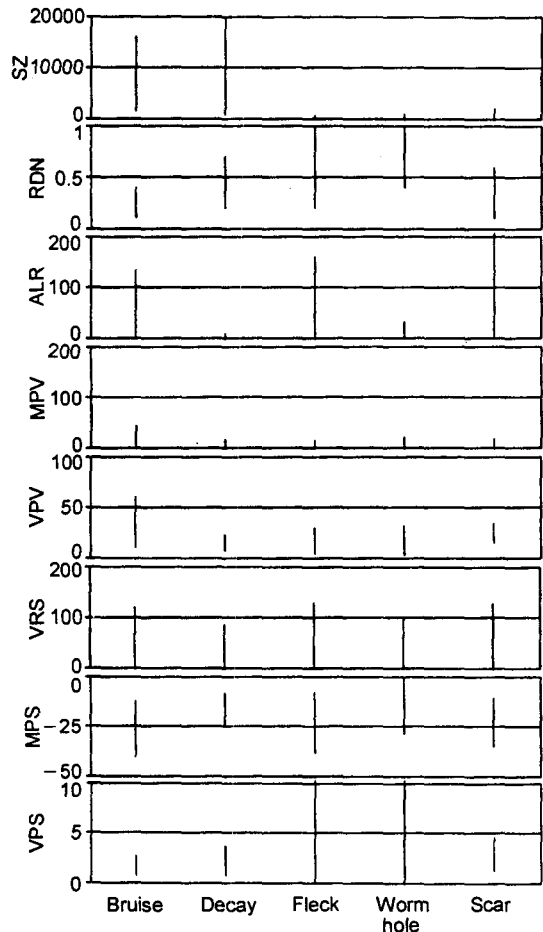


Fig. 4 Range of the parameters to detect the defects in G frame.

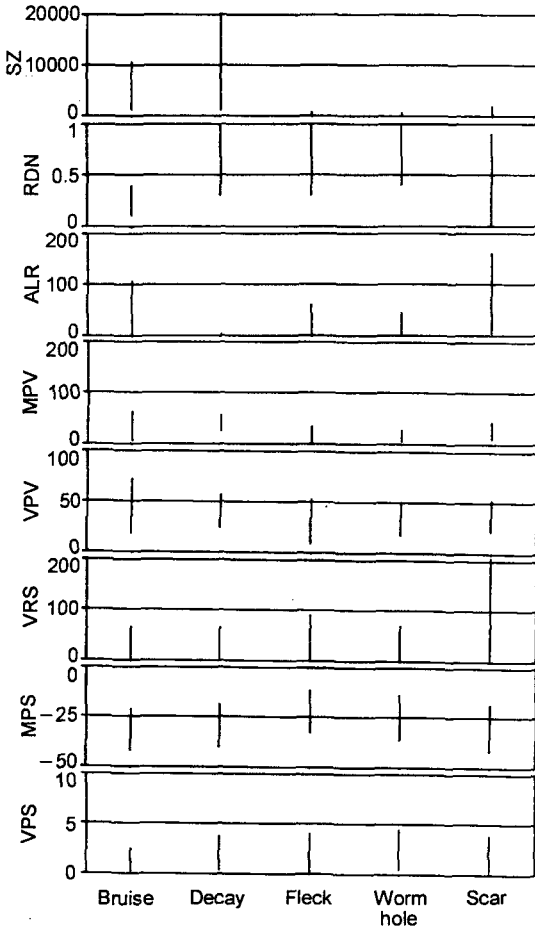


Fig. 5 Range of the parameters to detect the defects in I frame.

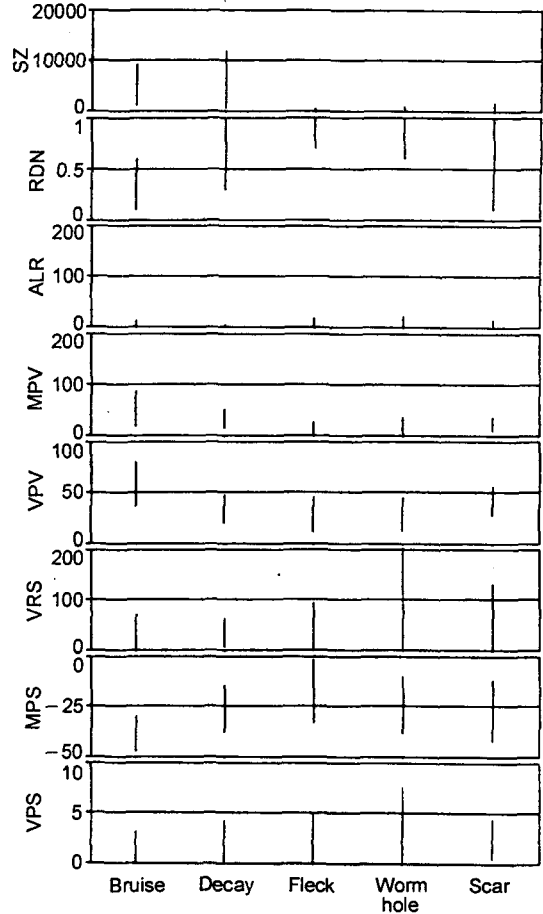


Fig. 6 Range of the parameters to detect the defects in NIR frame.

R 화면의 경우 그림에서와 같이 결점 영역 넓이에 의해 타박상과 부패는 나머지 3종의 결점과 비교적 확실히 구분할 수 있고, 타박상과 부패는 원형도에 의해 서로 구분할 수 있음을 알 수 있었다. 반점과 벌레구멍과 굽힘의 구분은 나머지 6가지 결점 분석 인자에 의해서도 구분하기 곤란하였는데, 우선 파워 스펙트럼의 표준편차에 의해 반점과 벌레구멍은 굽힘과 상당 부분을 구분할 수 있고, 반점과 벌레구멍의 구분은 파워 스펙트럼의 평균값에 의해 대체적으로 구분할 수 있었다.

G 화면의 경우도 타박상과 부패는 결점 영역의 넓이에 의해 나머지 3종의 결점과 비교적 확실히 구

분할 수 있었고, 타박상과 부패의 구분은 장단변비에 의해 서로 구분할 수 있었다. 벌레구멍은 장단변비에 의해 반점과 굽힘과 구분할 수 있었고, 반점과 굽힘 간의 구분은 원형도에 의해 대체적으로 구분할 수 있었다.

I 화면에서도 타박상과 부패는 결점 영역의 크기에 의해 나머지 3종의 결점과 구분할 수 있었고, 타박상과 부패간의 구분은 원형도 또는 장단변비에 의해 가능함을 알 수 있었다. 나머지 3종의 결점간 구분은 원형도에 의해 굽힘을 구분하고 반점과 벌레구멍간의 구분은 파워 스펙트럼의 평균값에 의해 일부 가능함을 알 수 있었다.

NIR 화면에서도 타박상과 부패는 결점 영역의 크기에 의해 나머지 3종의 결점과 구분할 수 있었고, 타박상과 부패간의 구분은 원형도에 의해 상당 부분 가능하였다. 반점과 별레구멍과 굽힘 간의 구분은 상당히 곤란하였는데, 그림에서와 같이 파워 스펙트럼의 평균값에 의해 반점은 구분하고, 별레구멍과 굽힘간의 구분은 파워 스펙트럼의 표준편차에 의해 일부 가능함을 알 수 있었다.

이상의 결점 분류 방법에 의해 R, G, I 그리고 NIR 화면별로 실험한 결과는 각각 표 1, 표 2, 표 3, 표 4와 같다. 표에서와 같이 R, G, I, NIR 화면에 있어 결점의 종류를 정확히 분류한 경우는 각각 69%, 67%, 76%, 77%로서 NIR 화면에 있어 그 정확도가 가장 높았으며 그 다음은 I 화면으로 나타났다. 따라서 컴퓨터 시각에 의해 사과 결점을 검출할 경우 바

람직한 화면은 NIR 화면 또는 I 화면인 것으로 판명되었다. 다만 NIR 화면에서는 실험한 113가지 모든 결점을 찾아냈지만 I 화면에서는 5.3%에 해당되는 결점을 찾지 못한 것으로 나타났으며 이는 전술한 실험결과로부터 예상되었던 결과이다.

본 연구에서 조사한 8가지 결점의 특징에 관한 인자 중 I 화면과 NIR 화면에서 실제로 이용한 인자는, I 화면의 경우 결점 영역의 넓이, 장단변비, 원형도, 파워 스펙트럼의 평균값의 4가지 인자이고, NIR 화면의 경우는 결점 영역의 넓이, 원형도, 파워 스펙트럼의 평균값과 표준편차 4가지 인자였다.

NIR 화면이나 I 화면에서 실험한 5종의 사과 결점 검출의 정확도는 76% 이상으로서 Miller와 Delwiche(1991) 그리고 Singh(1993)이 복숭아를 대상으로 실험한 결과인 정확도 60~69%보다 높은 결과

Table 1 Test results to classify apple defects in R frame

| Defects | No. of Sample | Defect Classification in R Frame | | | | | | Accuracy (%) |
|------------|---------------|----------------------------------|-------|-------|-----------|------|-----------|--------------|
| | | Bruise | Decay | Fleck | Worm Hole | Scar | No Detect | |
| Bruise | 11 | 7 | 1 | | | | 3 | 64 |
| Decay | 19 | | 19 | | | | | 100 |
| Fleck | 13 | | | 9 | 4 | | | 69 |
| Worm Hole | 16 | | | 4 | 12 | | | 75 |
| Scar | 16 | 2 | 3 | | | 6 | 5 | 38 |
| Avg. (Sum) | (75) | | | | | | | 69 |

Table 2 Test results to classify apple defects in G frame

| Defects | No. of Sample | Defect Classification in G Frame | | | | | | Accuracy (%) |
|------------|---------------|----------------------------------|-------|-------|-----------|------|-----------|--------------|
| | | Bruise | Decay | Fleck | Worm Hole | Scar | No Detect | |
| Bruise | 11 | 8 | 1 | | | 2 | | 73 |
| Decay | 19 | 2 | 15 | | | 2 | | 79 |
| Fleck | 13 | | | 8 | 2 | 2 | 1 | 62 |
| Worm Hole | 16 | | | 3 | 10 | 2 | 1 | 63 |
| Scar | 16 | 3 | 1 | | | 9 | 3 | 56 |
| Avg. (Sum) | (75) | | | | | | | 67 |

Table 3 Test results to classify apple defects in I frame

| Defects | No. of Sample | Defect Classification in I Frame | | | | | | Accuracy (%) |
|------------|---------------|----------------------------------|-------|-------|-----------|------|-----------|--------------|
| | | Bruise | Decay | Fleck | Worm Hole | Scar | No Detect | |
| Bruise | 11 | 10 | 1 | | | | | 91 |
| Decay | 19 | 1 | 15 | | | 2 | 1 | 79 |
| Fleck | 13 | | 1 | 8 | 2 | 1 | 1 | 62 |
| Worm Hole | 16 | | | 3 | 11 | | 2 | 69 |
| Scar | 16 | 1 | 2 | | | 13 | | 81 |
| Avg. (Sum) | (75) | | | | | | | 76 |

Table 4 Test results to classify apple defects in NIR frame

| Defects | No. of Sample | Defect Classification in NIR Frame | | | | | | Accuracy (%) |
|------------|---------------|------------------------------------|-------|-------|-----------|------|-----------|--------------|
| | | Bruise | Decay | Fleck | Worm Hole | Scar | No Detect | |
| Bruise | 131 | 13 | | | | | | 100 |
| Decay | 19 | 4 | 15 | | | | | 79 |
| Fleck | 32 | | 1 | 24 | 7 | | | 75 |
| Worm Hole | 22 | | | 10 | 12 | | | 55 |
| Scar | 27 | 3 | 3 | 1 | | 20 | | 74 |
| Avg. (Sum) | (113) | | | | | | | 77 |

였다. 특히 사과 선별시 그 검출의 필요성이 높으면 서도 발생 빈도가 높은 타박상과 부패를 NIR 화면이 나 I 화면에서는 79~100% 정도의 정확도 수준에서 검출하므로써, 사과 결점 검출을 위하여 본 연구에서 개발한 방법은 그 실용성이 상당히 높은 것으로 판단되었다.

4. 요약 및 결론

사과의 결점을 검출할 수 있는 컴퓨터 시각 장치를 개발하기 위한 기초 연구로서 본 연구는 컬러와 근적외선 컴퓨터 시각 장치를 이용하여 타박상, 부패, 반점, 벌레구멍, 굽힘의 5 가지 사과 결점을 대상으로 일련의 실험을 수행하였다. 실험은, 첫째, 컬러 컴퓨터 시각의 R, G, B, H, S, I 화면과 근적외선 (NIR) 화면의 7종의 화면 중 연구 대상인 5 종 결점

영역을 정상적인 사과 표면으로부터 정확히 검출하는 화면을 찾는 화면 결정 실험, 둘째, 결점의 종류를 분류할 수 있도록 검출한 결점 영역의 특징을 조사하기 위한 실험, 셋째, 조사한 결점 영역의 특징을 검토하여 결점의 종류를 파악하는 추론 과정의 개발과 개발한 내용의 타당성을 검증하는 실험으로 구분하여 수행하였다.

사과 결점을 검출하는데 우수한 화면을 결정하기 위하여 7종 화면을 대상으로 실험한 결과, 가장 바람직한 화면은 NIR 화면으로 나타났으며, 이 외에 R, G, I 화면도 우수한 것으로 나타났다.

검출한 결점 영역의 특징으로부터 결점의 종류를 분류하기 위하여 결점 영역의 기하학적 특징인 넓이, 원형도, 장단변비, 그리고 광학적 특징인 화소값의 평균과 표준편차 그리고 Fourier 변환 결과인 주파수 스펙트럼 실수 부분의 표준편차, 파워 스펙트

럼의 평균과 표준편차 등을 앞에서 결정한 R, G, I, NIR 화면에서 연구 대상인 5종의 결점에 대하여 조사하였다. 그리고 그 결과를 이용하여 4종의 화면에서 결점의 종류를 분류하는 검색 과정을 각각 결정한 후 이의 정당성을 실험하였다. 그 결과 결점의 종류를 파악하는데 바람직한 화면은 I 화면과 NIR 화면으로 분석되었으며, 결점 분류의 정확도는 두 화면에서 각각 76%와 77% 정도로서 본 연구에서 개발한 일련의 결점 검출 과정은 실용성이 있는 것으로 판단되었다.

참 고 문 헌

1. 노상하, 이종환, 황인근. 1995. 흑백영상처리장치를 이용한 다목적 과실선별기의 등급판정 알고리즘 개발. 한국농업기계학회지 20(1):95-103.
2. 서상룡, 유수남, 임형돈, 신건철, 윤여두. 1992. 컬러 컴퓨터 시각과 육안에 의한 사과 색깔 식별. 한국농업기계학회지 17(2):123-131.
3. 河野登夫. 1990. 農産物非破壞檢査, 計測機器(II). 農業および園藝. 65(1):267-270.
4. Delwiche, M. J., S. Tang and J. F. Thompson. 1990. Prune defect detection by line-scan imaging. Trans. of the ASAE 33(3):950-954.
5. Heinemann, P. H. et al. 1991. An automated mushroom inspection system using artificial intelligence and machine vision. ASAE Paper No. 91-7001.
6. Miller, B. K. and M. J. Delwiche. 1991. Spectral analysis of peach surface defects. Trans. of the ASAE 34(6):2509-2515.
7. Miller, B. K. and M. J. Delwiche. 1991. Peach defect detection with machine vision. Trans. of the ASAE 34(6):2588-2597.
8. Shearer, S. A. and F. A. Payne. 1990. Color and defect sorting of bell peppers using machine vision. Trans. of the ASAE 33(6):2045-2050.
9. Singh, Nimesh, M. J. Delwiche and R. Johnson. 1993. Machine vision algorithms for defect grading of stonefruit. ASAE Paper No. 93-3005, St. Joseph, MI.
10. Throops, J. A., G. E. Rehkugler and B. L. Upchurch. 1989. Application of computer vision for detecting watercore in apples. Trans. of the ASAE 32(6):2087-2092.
11. Upchurch, B. L. et al. 1991. Optical detection of bruises and early frost damage on apples. Trans. of the ASAE 34(3):1004-1009.
12. Wulfsohn, D, Y. Saring and R. V. Algazi. 1993. Defect sorting of dry dates by image analysis. Canadian Agri. Engg. 35(2):133-139.