한국농업기계학회지 제26권 제2호. pp. 169~176. 2001

근적외선 영상을 이용한 후지사과의 결점 검출에 관한 연구 (I)
– 결점의 광학적 특성 구명 및 유의파장 선정 –

Defect Detection of 'Fuji' Apple using NIR Imaging (I)
– Optical characteristics of defects and selection of significant wavelelength –

이수희 정회원 S. H. Lee
노상하 정회원 S. H. Noh

SUMMARY

Defect of apple was depreciated the product value and causes storage disease seriously. To detect the defect of 'Fuji' apple with machine vision system, the optical characteristics of defect should be investigated. In this research, absorbance spectra of defect were acquired by spectrophotometer in the range of visible and NIR region(400～1,100nm) and L*a*b* color values were also acquired by colorimeter. NIR machine vision system was constructed with B&W camera, frame grabber, 16 tungsten-halogen lamps, variable focal length lens and NIR bandpass filter which was mounted to lens outward. Average gray values of defect at 15 NIR wavelength were acquired and the significant NIR wavelength was selected by comparing Mahalanobis distance between sound and defective apple. As the result of Mahalanobis distance analysis, the significant wavelength to discriminate the defectives in 'Fuji' apple were found to be 720nm for scab and 970nm for bruise and cuts and 920nm was also effective regardless of defective types.

Keywords : NIR, NIR imaging, Apple, Defect, Machine vision, Mahalanobis.

1. 서 론

사과의 결점은 상품성을 떨어뜨릴 뿐만 아니라 일정 크기 이상일 경우 상품으로서의 가치를 상실하게 하며, 저장 과정에서 정상적인 사과에 손상을 입혀 많은 경제적인 손실을 유발시킨다. 그러므로 저장용 사과의 경우 1차적으로 결점과만을 골라내는 작업을 수행하여 결점에 따른 피해를 최소화시키고 있으며, 상품으로 출하되는 사과의 경우도 마찬가지로 육안에 의해 예비선별단계에서 이를 제거하는 작업이 수행되고 있다. 이러한 사과 결점 선별과정은 많은 인력을 필요로 하며 전

This study was conducted by the research fund of advanced technology project, supported by Ministry of Agriculture and Forestry. The article was submitted for publication in February 2001, reviewed in February 2001, and approved for publication by the editorial board of KSAM in March 2001. The authors are S. H. Lee, Senior Researcher, Sungkyunkwan University, and S. H. Noh, Professor, School of Bioresources and Materials Engineering, Seoul National University.

The corresponding author is S. H. Lee, Senior researcher, The institute of life science and natural resources, Sungkyunkwan University, 330 Chunchun-dong, Jangan-gu, Suwon city, 440-746, Korea. E-mail : <ercleesh@chollian.net>.

체 표면을 관찰해야 하므로 노동에 대한 피로도가 높고, 결점과의 비율이 높을 경우 이를 제거하지 못하고 상품으로 출하되고 있는 실정이다. 특히 타상은 육안 즉 가시광 특성만으로는 타상에 의한 내부 조직변화를 인식하기 어렵기 때문에 검출에 어려움을 갖고 있으며, 기계수확을 수행하는 과정에서 자주 발생하므로 기계를 이용한 결점검출 장치에 대한 필요성이 증가하고 있다.

외국의 경우 결점 선별에 관한 많은 연구가 진행되어 왔으나 대부분 결점의 물리적 특성만을 구명하였으며 이를 실용화한 연구는 최근에야 보고되고 있다. 이처럼 결점선별 작업이 자동화되기 어려운 이유는 결점의 종류와 특성이 매우 다양하여 각각의 결점의 특성을 동시에 고려할 수 있는 장치 구성이 어려웠기 때문인 것으로 판단된다.

그 동안 결점 검출에 관한 연구 동향을 살펴보면 초기에는 광학적 특성을 구명하는 기초적인 연구에서 시작하여 기계시각을 이용하여 이를 검출하는 알고리즘을 개발하는 내용으로 진행하여 왔으며, 구체적으로는 결점의 색 특성을 이용하는 방법과 흑백카메라의 근적외선 응답특성을 이용하는 방법으로 구분할 수 있다. 먼저 결점의 색 특성을 이용하는 방법은 R, G, B 컬러 채널의 색차 신호를 이용하거나 혹은 Hue와 같은 색상 신호를 이용하는 방법이 있으며, 대표적인 연구로 Leemans 등(1998)은 컬러 기계시각시스템을 사용하여 Golden Delicious 사과의 결점을 검출하는 연구를 수행한 바 있다. 이들은 하부 조명과 상부 반사판을 사용하여 조명장치를 구성하였으며, 검정색 기준판을 사용하여 화소치를 보정하고 Median 필터와 Erode 필터를 사용하여 노이즈 및 경계부근의 불연속 화소치를 제거하였다. 이어서 컬러 벡터에 대한 마할라노비스 거리를 계산하여 결점 화소를 결정한 후 이웃 화소의 분포특성을 고려하여 최종적으로 결점을 인식하는 연구를 수행하였다. 또한 Heinemann 등(1995)이 Hue값을 이용하여 Golden Delicious 사과의 녹(russet)을 검출하는 연구를 수행하였으며, Miller(1995)는 기준색지를 사용하여 Hue, Saturation, Intensity값의 차이를 인자로 하여 베이시안 판별분석 및 신경회로망에 의해 오렌지와 포도의 결점을 검출하는 연구를 수행한 바 있다. 서상룡과 성제훈(1997)은 결점의 넓이, 원형도, 결점의 장변에 대한 1차원 푸리에 변환에 의한 파워스펙트럼의 평균과 표준편차를 인자로 타박상, 부패, 반점, 벌레구멍 및 긁힘의 5가지 결점을 구분하는 연구를 수행하였으며, 분석결과 HSI 좌표계에서의 I 좌표계 영상과 근적외선 영상이 검출에 유의하였음을 보고하였다.

일반적으로 결점은 사과 내부 조직의 변화를 말하며 조직의 파괴로 인하여 수분 함유량이 정상적인 부위와는 차이가 있다. 따라서 근적외선을 이용할 경우 이와 같은 내부 조직의 차이를 검출할 수 있고 근적외선은 과피 색에 의한 영향을 받지 않으므로 과피 색에 무관한 검출이 가능할 것으로 판단하였다. 특히 물리적으로 상처를 받은 경우 과피색의 변화는 일정 시간이 경과한 후에야 육안으로 관찰이 가능하나 근적외선을 이용할 경우 육안으로 관찰하기 어려운 상처부위를 감지할 수 있으므로 보다 정밀한 결점선별을 수행할 수 있을 것으로 판단하였다. 본 연구는 기계시각장치에 의해 결점을 검출할 수 있는 알고리즘을 개발할 목적으로 먼저 결점의 광학적 특성을 구명하고자 하였으며 구체적인 연구 목적은 다음과 같다.

1. 주요 결점인 타상, 자상 및 병반의 분광학적 특성과 컬러 특성을 분석하고
2. 대역통과필터를 장착한 근적외선 기계시각장치를 구축하여 근적외선 결점 영상의 특성을 구명하며
3. 일반화 거리분석을 수행하여 결점 검출에 유의한 파장을 제시한다.

2. 재료 및 방법

가. 재 료

사과에서 발생하는 결점은 타상(打傷, bruise), 자상(刺傷, cuts), 열상(裂傷, crack), 병반(病斑, scab), 곰팡이(mold) 및 충해(insect infestation) 등으로 나눌 수 있다. 현재 국내에서 제시하고 있는 출하규격에 의하면 타상 및 자상은 없어야 하며, 병반은 '특' 등급의 경우 지름 0.3cm의 병반을 2개까지 허용하며 기타 등급에 대해서는 최대 5개까지 허용한다.

본 연구에서는 국내 출하 규격에 따라 여러 가지 결점 중에서 저장시 문제를 발생시키는 병반과 선별 및 운송과정에서 발생하는 타상, 자상을 검

출 대상으로 하였다. 병반은 겹무늬썩음병, 코르크병, 탄저병에 의한 것으로 하였고, 타상은 쇠망치로 5회 충격을 가하고 1시간이 경과된 사과로 하였으며, 자상은 날카로운 물체로 길이 2cm, 깊이 0.5cm로 표피에 상처를 준 후 타상과 마찬가지로 1시간이 경과된 것으로 하였다. 공시재료는 1998년 가을에 수확한 후지사과를 시중에서 구입하여 사용하였다.

나. 실험장치

결점과에 대한 광학적 특성을 구명하기 위한 장치로 분광광도계와 색채계를 사용하였다. 분광광도계는 농업과학공동기기센터(NICEM)에서 보유한 분광광도계(Model 6500, NIR Systems)를 사용하였으며 400~1,100nm 파장 범위에 대한 흡광도를 측정하고 스펙트럼 특성을 분석하였다. 또한 결점의 색 특성 분석을 위하여 색채계(CR 200, Minolta)를 사용하였으며 스펙트럼을 측정한 동일한 부위에 대해서 L*a*b* 값을 측정하였다.

근적외선 영상을 얻기 위해서는 일반적으로 흑백 CCD 카메라에 근적외선 대역통과필터를 부착하는 방식이 일반적으로 사용된다. 본 연구에서는 근적외선 필터를 부착한 결점선별용 기계시각장치를 구성하였다. 먼저 영상획득에 사용한 카메라는 근적외선 감도 특성이 있는 흑백 CCD카메라(GC-145E, LG-Honeywell)를 사용하였다. 흑백 CCD 카메라의 렌즈 전면부에 다양한 근적외선 영상을 획득하기 위해서 720~1,000nm 영역에서 10nm의 유효밴드폭을 갖는 15개의 대역통과필터(Corion, USA)를 사용하였다. 이 때 근적외선 영상 획득시 필터의 교환에 따른 영상의 변이를 최소화시키고자 필터 홀더를 제작하였다(그림 1). 필터 홀더에는 1인치 직경 대역통과필터 5개를 장착할 수 있으며 슬라이더를 좌우로 움직임으로써 원하는 필터가 렌즈의 전면에 위치하도록 하였다.

한편 결점은 발생 위치가 일정하지 않고 다양한 모양을 갖고 있으므로 매우 균일한 조명이 필요하다(Davenel et. al. 1988). 본 연구에서는 이를 위해 정팔각형의 조명장치를 구축하고 8개의 텅스텐-할로겐 등(Luxtex 200W)을 각 면에 상하로 부착하여 총 16개의 할로겐 등을 장착하였다.

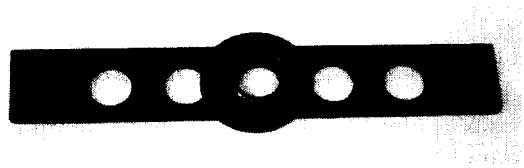


Fig. 1 Filter Holder.

다. 결점의 광학적 특성 구명

본 연구에서는 결점의 광학적 특성을 구명하기 위하여 분광광도계에 의한 흡광도 스펙트럼 측정, 색채계를 이용한 컬러 측정 및 기계시각에 의한 근적외선 화소치 분석을 수행하였다. 먼저 결점의 분광스펙트럼은 대상체의 광학적 특성을 구명하기 위한 가장 기초적인 데이터를 제공해 주는 것으로 400~1,100nm까지 2nm 간격으로 흡광도를 측정하였다. 스펙트럼 측정 방법은 20mm 직경의 홀더 위에 결점 부위가 분광광도계의 적분구를 향하도록 위치시킨 상태에서 측정하였다. 측정 시료는 5℃ 저온저장고에 저장되어 있는 것을 상온에서 약 5시간 템퍼링을 시켰으며 결점과 종류별로 각각 30개를 시료로 사용하였다. 그리고 타상과 자상의 경우 물리적인 충격을 가하기 전과 가한 후를 측정하여 충격에 따른 근적외선 특성의 변화를 관찰하였다.

한편 결점의 색 측정은 스펙트럼을 측정한 동일 부위에 대해 색채계를 사용하여 L*a*b* 값을 측정하였으며, 이와는 별도로 정상적인 사과 부위를 착색과 지색으로 구분하고 이들의 컬러를 동시에 측정하였다. 측정된 색 데이터는 Duncan의 다중유의성 검정을 수행하여 색 인자의 유의성을 조사하였다.

라. 근적외선 영상 특성 분석

가시광 대역에서 필터를 통과한 영상은 주로 과피 색에 영향을 받으나 근적외선 영상의 경우는 과피 이외에도 내부 과육이 영향을 미칠 것으로 판단하였다. 이를 검증하기 위하여 과육을 삼각기둥 형태로 절단한 후 경사진 면이 카메라를 향하도록 검정색 플라스틱 바닥에 놓고서 경사면의 화

소치 변화를 살펴보았다. 화소치 조사는 가시광 대역의 550nm와 근적외선 영역의 970nm 파장에서 조사하였다.

한편 과피의 착색 정도가 근적외선 영상의 화소치에 미치는 영향을 관찰하기 위하여 매우 착색이 잘 된 사과에서 착색이 전혀 되지 않은 지색 사과까지 총 4개의 착색 정도에 따른 사과 시료에 대해 720~1,000nm에서 과피 부위의 화소치를 조사하였다. 측정시 불균일한 조명 강도의 영향을 최소화시키기 위해 측정장치의 중앙에 시료를 놓았으며, 필터에 따른 투과도가 각기 다르므로 배경으로 사용한 검정색 플라스틱의 화소치가 15의 값을 갖도록 조리개를 조절한 후 영상을 획득하였다. 또한 과피가 근적외선 화소치에 미치는 영향을 조사하기 위해 과피가 있는 타상, 과피를 제거한 과육만의 타상, 그리고 정상적인 과육의 3가지 시료에 대해서 평균화소치를 측정하고 이들 사이를 비교하였다.

최종적으로 결점의 근적외선 화소치 획득은 결점 부위를 화면의 중앙에 위치시킨 상태에서 5×5 화소 영역의 평균 화소값을 대표값으로 하였으며, 정상 부위는 결점 주변의 정상 부위에 대한 화소값을 사용하였다. 그리고 파장이 바뀌는 경우 앞에서 언급한 바와 같이 조리개를 사용하여 기준 배경의 화소치가 일정한 값이 나오도록 카메라에 입사되는 광량을 조정한 후 영상을 획득하였다.

마. 결점 검출을 위한 근적외선 유의 파장 선정

결점 검출을 위한 유의 파장을 선정하기 위하여 분광광도계로 측정한 스펙트럼 분석 결과가 아닌 대역통과필터를 부착한 카메라 영상을 분석한 결과를 가지고 선정하였다. 영상 데이터를 사용한 이유는 분광광도계에 의한 흡광도 스펙트럼 분석 결과 제시된 파장은 대역통과필터에 의한 영상과는 다소 차이가 있으며, 또한 필터 특성을 고려한 스펙트럼 시뮬레이션을 수행하더라도 카메라의 특성을 고려하기에는 여러 가지 어려운 점이 있기 때문이었다.

유의 파장은 식(1)을 사용하여 정상 부위와 결점 부위 사이의 Mahalanobis 거리(D^2)가 가장 큰 값을 보이는 파장으로 정의하였으며, 각각의 결점을 검출하기 위한 유의 파장과 이들 3가지 결점 모두를 동시에 검출하기 위한 파장에 대해 조사하였다.

$$D^2 = \frac{\overline{x_s} - \overline{x_d}}{\sigma^2} \quad (1)$$

x_s : *average gray level of sound apple*

x_d : *average gray level of* def*ective apple*

σ^2 : *pooled variance*

3. 결과 및 고찰

가. 결점의 광학적 특성 구명

타상, 자상 및 병반에 대한 광학적 특성을 구명하기 위하여 분광광도계를 사용하여 가시광 및 근적외선 영역 (400~1,100nm)에 대한 흡광도를 측정하였다. 그림 2는 결점 부위에 대한 흡광 스펙트럼으로서 700~1,100nm 영역에서 전반적으로 결점의 흡광도가 정상 부위의 흡광도보다 높은 것으로 나타났다. 970nm 대역에서 볼 수 있는 흡수 피크는 수분에 의한 것으로서 결점의 흡광도는 정상 부위보다 높았으며, 특히 타상의 흡광도가 다른 결점에 비해 상대적으로 큰 것을 볼 수 있었다. 이와 같은 결과는 과육 조직의 파괴로 인한 수분 증가를 설명해 주는 것으로서 근적외선 특성을 이용할 경우 결점을 검출하는데 매우 유용할 것으로 판단하였다. 한편 병반은 700~800nm 대역에서 상

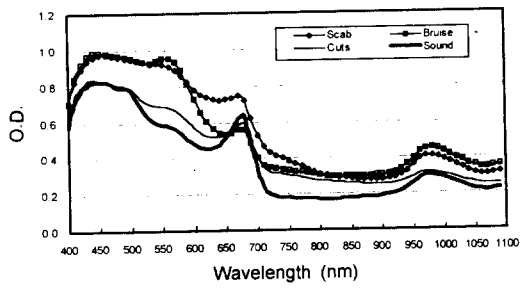


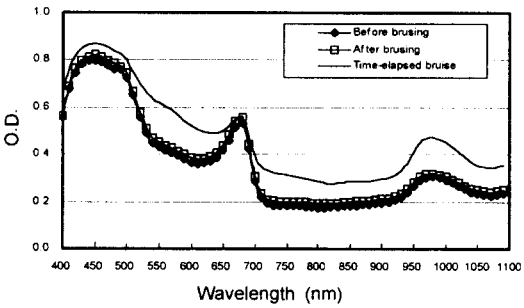
Fig. 2 Absorbance spectra of the sound and defective parts of Fuji apple.

Table 1 Result of Duncan's multiple range test

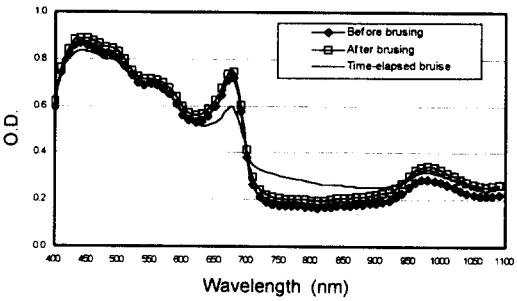
(α = 0.05)

Color	Defect	Mean	Duncan Grouping	Color	Defect	Mean	Duncan Grouping	Color	Defect	Mean	Duncan Grouping
L*	GC[1]	67.8	A	a*	SC	28.3	A	b*	GC	40.1	A
	Bruise	50.0	B		Scab	11.9	B		Cuts	26.7	B
	Cuts	49.5	B		Bruise	10.4	B		Bruise	26.5	B
	SC[2]	47.3	B		Cuts	8.2	B		SC	21.3	C
	Scab	36.2	C		GC	-2.0	C		Scab	14.0	D

[1] GC : Ground color [2] SC : Surface color



(a) Bruise



(b) Cuts

Fig. 3 Change in absorbance spectra of bruise(a) and cuts(b) in Fuji apple.

대적으로 높은 흡광도를 갖는 것으로 나타났다.

그림 3은 사과에 충격 또는 상처를 가하기 전과 가한 직후에 스펙트럼의 차이를 나타낸 것으로 충격 또는 상처를 받은 사과는 근적외선 영역의 흡광도가 증가하는 것이 관찰되었으며, 일정시간이 경과된 타상은 정상 부위보다는 큰 근적외선 흡수가 일어나는 것으로 나타났다. 한편 자상의 경우 시간이 경과된 시료에 대해서는 970nm 영역에서 낮은 흡광도를 보여주었는데 이와 같은 현상은 자상 부위가 건조됨에 따라 수분의 함유량이 감소되었기 때문인 것으로 판단된다.

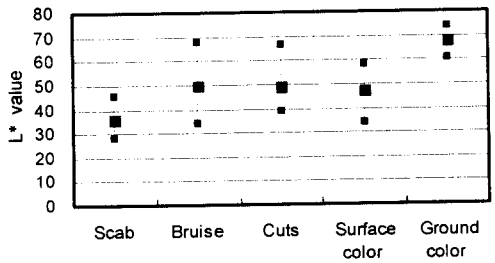
나. 결점의 색 특성

정상과 40개, 타상 18개, 자상 16개, 병반 26개에 대하여 색채계를 사용하여 결점의 L*, a*, b* 값을 측정하고 Duncan의 다중 유의성 검증을 수행하여 각 색인자의 유의성을 분석하였다<표 1>. 분석 결과 L* 값에 대해서는 타상과 자상은 착색과 중첩되어 있었으며, 병반은 중첩됨이 없이 하나의 그룹을 이루고 있는 것으로 나타났다. a* 값에 대해서는 3가지의 결점이 동일한 하나의 그룹을 이루고 있었으며, b*값에 대해서는 자상과 타상이 하나의 그룹으로 그리고 병반이 또 하나의 그룹을 형성하는 것을 보여주어 가장 유의한 색인자인 것으로 나타났다.

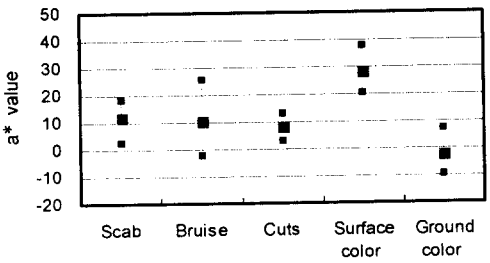
하지만 색 인자에 의한 결점의 검출은 그림 4에서 보는 바와 같이 상당히 많은 부분이 정상적인 과피의 색과 중첩되어 있어서 매우 제한적인 검출만이 가능할 것으로 판단하였다. 병반에 대해서는 앞서 언급한 바와 같이 명암차이로 쉽게 분리가 가능할 것으로 판단되나 특히 타상과 자상은 정상적인 착색 부위와 지색 부위의 중간적인 색 특성을 갖는 것으로 나타나 검출에 어려움이 있는 것으로 나타났다. 이와 같은 결점의 색 특성은 기존의 컬러에 의한 결점 검출 가능성을 보고한 연구사례와는 상반된 것으로서, 과피색이 노란색인 사

과의 경우 타상과 자상의 색상이 착색 부위와는 많은 차이가 있으므로 이를 검출하는 것이 가능할 것으로 보이나 본 연구에서 대상으로 하는 후지 품종은 결점 부위의 색상과 착색의 색상 사이에 큰 차이를 보여주지 않으므로 컬러에 의한 결점 검출은 어려울 것으로 판단하였다.

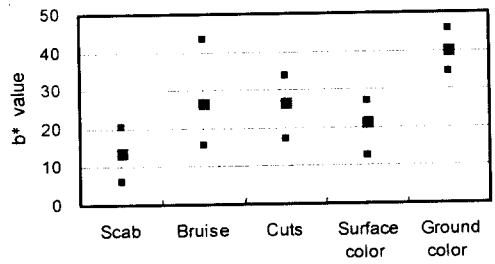
결론적으로 본 연구에서는 다양한 결점의 색 특성으로 인해서 색에 의한 결점 검출에는 한계가 있을 것으로 예상되며 과피색에 영향을 받지 않는 근적외선 특성을 이용하는 결점 검출이 바람직 할 것으로 판단하였다.



(a) L* value



(b) a* value



(c) b* value

Fig. 4 Distribution of L*a*b* values measured at each defective part.

다. 근적외선 영상 특성 분석

근적외선 영상의 특성을 구명하기 위하여 먼저 입사된 광이 어느 정도의 깊이까지 과육 내로 침투할 수 있는가를 조사하였다. 그림 5는 과육의 두께에 따른 화소치 변화를 나타낸 것으로 550nm의 가시광 대역과 970nm의 근적외선 영역에 대해서 조사하였다. 조사 결과 과육 부위의 화소치는 약 1cm의 두께까지는 급격히 증가하다가 그 이후에는 완만하게 증가하였고 가시광선과 근적외선의 화소치 경향은 매우 유사한 것을 보여주었다. 이것은 과육의 두께가 얇을 경우 입사된 광이 바닥면의 검정색 플라스틱에 의해 흡수되고 일정 두께 이상이 되면 더 이상 흡수가 일어나지 않기 때문에 나타난 결과로 보인다. 결국 입사한 광은 과육의 일정 부분까지는 침투하는 것으로 판단되며, 이와 같은 특성을 이용할 경우 타상과 같이 육안으로 관찰이 어려운 결점을 검출할 수 있을 것으로 기대하였다.

한편 과피의 착색 정도에 따른 근적외선 화소치를 분석한 결과 그림 6에서 보는 바와 같이 착색 부위와 비착색 부위가 동일한 화소치를 보여주어 착색 정도와 근적외선 화소치와는 일정한 경향이 없는 것으로 나타났다.

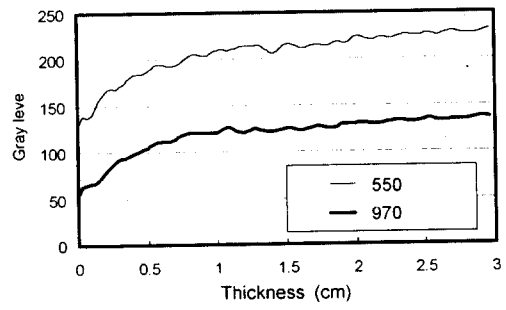


Fig. 5 Change in gray levels of the filter images of the sliced fruit flesh having the different thickness.

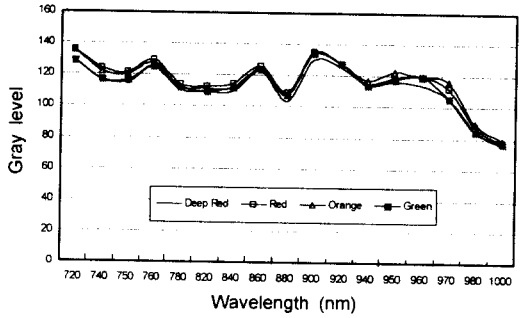


Fig. 6 Gray level distribution of Fuji apple images having different colors.

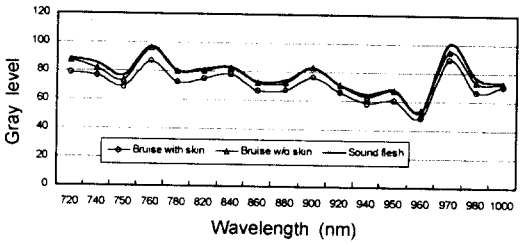


Fig. 7 Gray level distribution of the sound flesh and the bruise with and w/o skin of Fuji apple.

3가지의 결점중 가장 검출이 어려울 것으로 예상되는 타상에 대해서 과피가 화소치에 미치는 영향을 조사하였다. 그림 7은 타상 부위의 과피를 제거한 것과 제거하지 않은 것의 차이를 나타낸 것으로 동일한 타상 부위라도 과피가 없을 경우 화소치는 증가하는 것을 보여주었다. 즉 타상에서 입사된 광의 흡수는 과육에 의한 흡수와 과피에 의한 흡수로 나눌 수 있으며, 과피가 없을 경우 카메라로 반사되는 광량이 증가하여 화소치가 높아지는 것으로 판단된다. 한편 과피를 제거한 경우에는 970nm를 제외한 나머지 영역에서는 정상적인 과육과 멍든 과육의 차이가 미미하여 타상에서 일어나는 광 흡수는 대부분 과피에서 일어나는 것으로 판단된다.

라. 근적외선 유의 파장 선정

근적외선 파장을 결정하기 위하여 샘플 시료를 대상으로 15개의 근적외선 대역에서의 화소치를

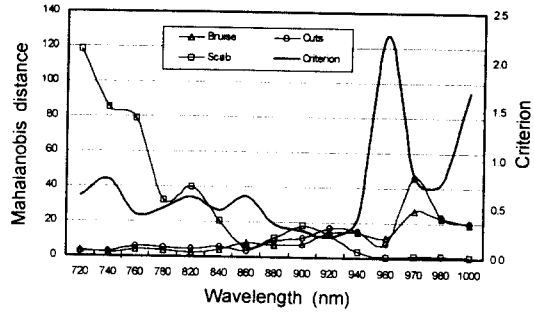


Fig. 8 Mahalanobis distance computed with the filter images.

구하고 Mahalanobis 거리를 사용하여 판별 가능성을 조사하였다. 그림 8은 각 파장대역에서 정상부위와 결점 부위의 Mahalanobis 거리를 나타낸 것이다. 먼저 타상과 자상에 대한 Mahalanobis 거리는 파장이 증가함에 따라 미약하지만 증가하는 특성을 보여주었으며 수분 흡수 파장인 970nm 파장에서 가장 큰 거리 차이를 보여주었다. 이에 비해 병반에 대한 Mahalanobis 거리는 720nm 파장에서 최대 거리 차이를 보여주었으며 파장이 증가할수록 거리가 감소하는 특성을 보여주어 타상 및 자상과는 상반되는 특성을 갖는 것으로 나타났다.

한편 3가지 결점에 대한 Mahalanobis 거리의 역수를 취한 값을 합하여 정상과 결점을 구분하기 위한 판별값을 계산하였다. 여기서 판별값은 거리의 역수를 취하였으므로 값이 작을수록 판별율이 높다는 것을 의미하며 분석 결과 3가지 결점에 대해 일정한 거리 차이를 갖는 920nm가 가장 낮은 판별값을 갖는 것으로 나타났다.

이상의 결과를 종합해보면 각각의 결점을 검출하기 위한 파장으로는 병반에 대해서 720nm, 타상 및 자상에 대해서 970nm가 가장 유의한 것으로 판단되며 병반이 타상과 자상보다는 상대적으로 검출이 용이할 것으로 예상되었다. 또한 이들 결점을 동시에 검출하기 위한 단일 파장으로는 920nm가 가장 적합한 것으로 나타났다.

4. 요약 및 결론

본 연구는 기계시각을 이용하여 사과의 주요 결점인 병반, 타상 및 자상을 검출하기 위한 기초연

구로서 결점의 광학적 특성을 구명하여 결점 검출에 유의한 파장을 제시하고자 하였다. 구체적인 연구결과는 아래와 같다.

1) 700~1,000nm의 근적외선 영역에서 결점의 흡광도를 측정한 결과 정상과보다 상대적으로 높은 흡광도 특성을 보여주었으며 착색 정도에 따른 흡광도의 차이는 미미한 것으로 나타났다.

2) 색채계를 사용하여 결점의 색 특성을 조사한 결과 b* 값이 가장 유의한 것으로 나타났으나 그 구간은 정상부위 영역과 중첩되어 있는 것을 보여주어 색에 의한 결점 검출은 제한적인 범위내에서 가능할 것으로 판단하였다.

3) 결점 검출을 위한 최적 유의 파장대역을 선정하기 위해 근적외선 대역통과 필터를 사용하여 흑백카메라에 의해 결점과 정상부위의 화소치를 측정한 후 Mahalanobis 거리를 계산한 결과 병반은 타상, 자상과는 상반된 특성을 보여주었으며 분석 결과 병반에 대해서는 720nm, 타상과 자상에 대해서는 970nm가 가장 유의한 파장인 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

1. Suh, S. H. and J. H. Sung. 1997. Detection of apple defects using machine vision. Journal of the Korean society for agricultural machinery Vol. 22(2):217-226 (In Korean).
2. Davenel, A., C. Guizard, T. Labarre and F. Sevila. 1988. Automatic detection of surface defects on fruit by using a vision system. J. agric. Engng Res. 41:1-9.
3. Heinemann, P. H., Z. A. Varghese, C. T. Morrow, H. J. Sommer III, and R. M. Crassweller. 1995. Machine vision inspection of 'Golden Delicious' apples. Applied Engineering in Agriculture 11(6):901-906.
4. Leemans, V., H. Magein and M. F. Destain. 1998. Defects segmentation on 'Golden Delicious' apples by using colour machine vision. Computer and Electronics in Agriculture 20:117-130.
5. Miller, W. M. 1995. Optical defect analysis of Florida citrus. Applied Engineering in Agriculture 11(6):855-860.