

# 근적외선 특성을 이용한 후지사과의 결점 검출에 관한 연구 NIR Characteristics for Defect Detection of 'Fuji' Apple

이수희\*  
정회원  
S. H. Lee

노상하\*  
정회원  
S. H. Noh

## 1. 서론

사과의 결점은 상품성을 떨어뜨릴 뿐 만 아니라 일정 크기 이상일 경우 상품으로서의 가치를 상실하며, 병해과는 저장 과정에서 정상적인 사과에 손상을 입혀 많은 경제적인 손실을 유발시킨다. 그러므로 저장용 사과의 경우 1차적으로 결점과만을 골라내는 작업을 수행하여 결점에 따른 피해를 최소화시키고 있으며 현지 출하 사과의 경우 주로 육안에 의한 1차 선별대에서 선별 작업이 수행되고 있으나 이것은 많은 인력을 필요로 하므로 기계를 이용한 선별 장치에 대한 필요성이 증가하고 있다.

결점은 형태와 색이 일정하지 않으며 다양한 위치에서 존재하므로 넓은 면적을 관찰할 수 있으며 색과 형상 정보를 추출할 수 있는 기계시각이 효과적인 검출방법인 것으로 판단된다. 일찍이 외국의 경우 많은 연구가 진행되어 왔으나 대부분의 연구는 결점의 물리적인 특성만을 구명하였으며 이를 이용한 실용화 연구는 최근에 그 결과가 보고되고 있다.

일반적으로 결점은 사과 조직의 변화를 말하며 생리적으로는 조직의 파괴로 인하여 수분의 함유량이 높아지는 특성이 있다. 따라서 결점 부위가 정상적인 부위와 비교되는 근적외선 특성을 보여준다면 이를 이용한 결점 검출이 가능할 것으로 판단하였다. 또한 근적외선을 이용할 경우 과피의 색에 의한 영향을 받지 않으므로 결점 검출에 보다 적합하다는 장점이 있다. 특히 물리적으로 상처를 받은 경우 과피색의 변화는 일정 시간이 경과한 후에야 육안으로 관찰이 가능하나 근적외선을 이용할 경우 육안으로도 관찰하기 어려운 상처부위를 사전

에 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. 결점과에 대한 정의

사과에서 발생하는 결점은 그 증상에 따라서 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 있으며 현재 국내에서 제시하고 있는 병반에 대한 선별 기준은 특 등급의 경우 지름 0.3cm의 병반을 2개까지 그리고 기타 등급에 대해서는 최대 5개까지 허용한다. 또한 타상 및 자상의 경우 과실내에 발생되지 않은 것을 출하하도록 되어있다.

본 연구에서는 국내 출하 규격에 따라 여러 가지 결점 중에서 저장시 문제를 발생시키는 것으로 보고되고 있는 병반, 타상 및 자상을 검출 대상으로 하였다. 병반

\* 서울대학교 농업생명과학대학 생물자원공학부

+ 본 연구는 한국과학재단 지원 "농산물 비파괴품질 및 안전성 평가 기술"의 연구비로 수행된 것임.

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

#### 나. 실험장치

결점의 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 측정할 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. 필터 홀더에는 1인치 직경 대역통과필터 5개를 장착할 수 있으며 슬라이더를 좌우로 움직임으로써 원하는 필터가 렌즈의 전면부에 위치하도록 하였다.

한편 결점은 발생 위치가 일정하지 않고 다양한 모양을 보이므로 일반적인 기계시각장치보다도 더 균일한 조명이 필요할 것으로 판단하여 정팔각형의 조명장치를 구축하고 8개의 텅스텐-할로겐등(Luxtex 200W)을 각 면에 상하로 부착하여 총 16개의 할로겐등을 장착하였

다. 할로겐등의 파장별 응답특성을 조사한 결과 흑백카메라가 응답하는 1,000nm 영역까지 복사 특성이 존재하는 것으로 확인되었다.

#### 다. 결점의 광학적 특성 구명

농산물의 분광스펙트럼 측정은 대상체의 광학적 특성을 구명하기 위한 가장 기초적인 데이터를 제공해주며 특히 결점 검출에 유의한 근적외선 필터를 선정하기 위한 기초 자료를 제공해준다는 점에서 의미가 있다. 분광스펙트럼 측정 방법은 먼저 사과를 20mm 직경의 홀더 위에 놓고 결점 부위가 분광광도계의 적분구를 향한 상태에서 측정하였다. 측정 시료는 앞서 언급한 결점과를 종류별로 각각 30개씩 측정하였으며 특히 타상과 자상의 경우 물리적인 충격을 가하기 전과 가한 후를 측정하여 충격에 따른 근적외선 특성의 변화를 분석하였다. 스펙트럼 측정 시료는 5℃ 저온저장고에 저장되어 있는 것을 상온에서 약 5시간 템퍼링을 시킨 후 측정하였다. 한편 스펙트럼을 측정한 시료의 동일 부위를 색채계로 측정하여 결점의 색 특성을 조사하였다.

한편 과피의 착색정도에 따른 근적외선 특성을 조사하였다. 매우 착색이 잘 된 것부터 지색 부위에 이르기까지 4개의 착색 정도에 따른 사과 절편을 만들고 720~1,000nm까지 대역통과필터에 따른 과피의 화소치를 조사하였다. 측정시 조명의 영향을 줄이기 위하여 영상의 중앙에 4개의 절편이 동일한 거리를 갖도록 하였으며 필터에 따른 투과도가 각기 다르므로 배경으로 사용한 검정색 플라스틱의 화소치가 15의 값을 갖도록 조리개를 사용하여 조명의 강도를 조절한 후 영상을 획득하였다.

#### 라. 결점 검출을 위한 근적외선 유의 파장 선정

본 연구에서는 결점 검출을 위한 유의 파장을 선정하기 위하여 분광광도계로 측정한 스펙트럼 분석 결과가 아닌 대역통과필터를 부착한 카메라 영상을 분석한 결과를 가지고 선정하였다. 영상 데이터를 분석한 이유는 분광광도계로 측정한 스펙트럼을 분석할 경우 하나의 단일 파장으로 결과가 나타나므로 영상에서 직접 응

용하기에는 적절하지 않을 것으로 판단되었기 때문이다. 즉 스펙트럼 분석 결과 제시된 파장은 단일 파장으로서 대역통과필터에 의한 영상과는 다소 차이가 있으며 또한 필터 특성을 고려한 스펙트럼 시뮬레이션을 수행하더라도 카메라의 특성을 고려하기에는 여러 가지 어려운 점이 있다.

근적외선 영상에서의 데이터 획득은 결점 부위를 화면의 중앙에 위치시킨 상태에서 5×5 영역에서의 평균 화소값을 구하였으며 화소치 비교시 조명에 의한 영향을 최소화시키기 위해서 결점 주변의 정상 부위에 대한 화소값을 획득하였다.

유의 파장은 Mahalanobis 거리를 계산했을 때 가장 큰 거리를 보이는 파장으로 선정하였다. 한편 3가지 결점을 동시에 검출할 수 있는지를 조사하기 위하여 3가지 결점 모두를 합한 것을 결점 군집으로 지정한 후 이들을 구분하기 위한 유의파정을 조사하였다.

### 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 1>은 결점 부위에 대한 흡광 스펙트럼으로서 400~700nm의 가시광 대역에서는 결점 부위와 정상 부위 사이에 뚜렷한 차이가 발견되지 않았으나 700~1,100nm 영역에서는 전반적으로 결점의 흡광도가 정상 부위의 흡광도보다 높은 것으로 나타났다. 특히 970nm대역에서 볼 수 있는 흡수 피크는 수분에 의한 것으로서 결점의 흡광도는 정상부위보다 높았으며 특히 타상의 흡광도가 매우 큰 차이가 있는 것을 볼 수 있었다. 이와 같은 결과는 과육 조직의 파괴로 인한 수분 증가를 설명해주는 것으로서 근적외선 특성을 이용할 경우 결점을 검출하는데 매우 유용할 것으로 판단하였다. 한편 병반은 700~800nm 대역에서 정상부위와는 매우 큰 흡광도 차이를 보여주었다.

한편 과피의 착색 정도에 따른 근적외선 화소치를 분석한 결과 <그림 2>에서 보는 바와 착색 부위와 비

착색 부위가 동일한 화소치를 보여주어 착색 정도와 근적외선 화소치와는 일정한 경향이 없는 것으로 나타났다.

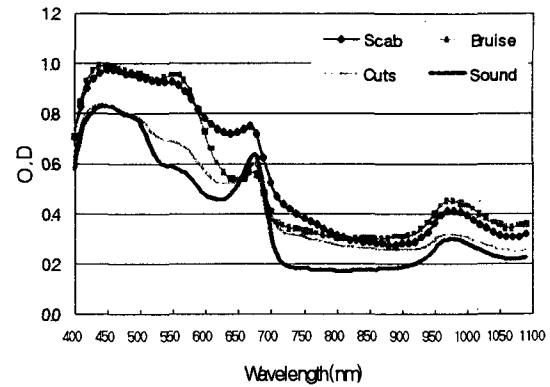


Fig. 1 Absorbance spectra of the sound and defective parts of Fuji apple.

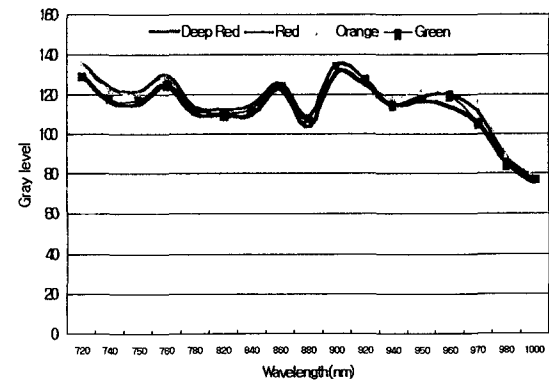
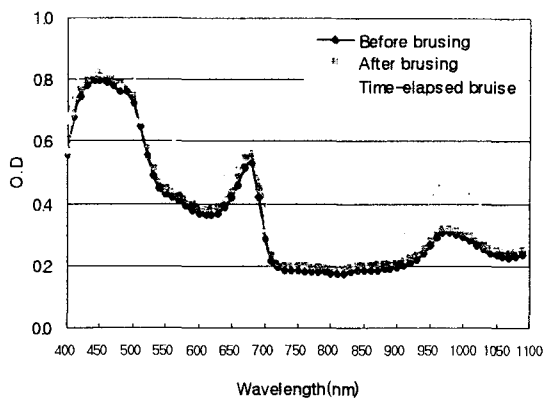
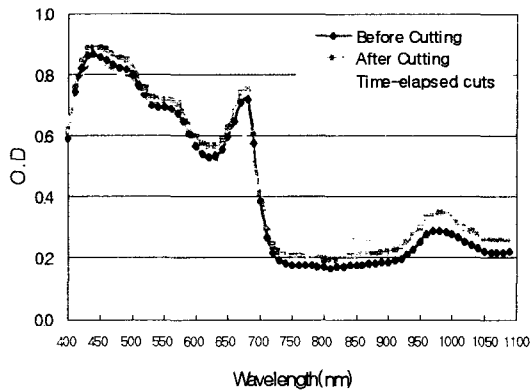


Fig. 2 Gray level distribution of Fuji apple images having different colors.

<그림 3>은 사과에 충격 또는 상처를 가하기 전과 가한 직후에 대한 스펙트럼의 차이를 나타낸 것으로 충격을 받은 사과는 근적외선 영역의 흡광도가 미약하지만 증가하는 것이 관찰되었으며 시간이 경과된 타상은 정상 부위보다는 매우 큰 근적외선 흡수가 일어나는 것으로 나타났다. 한편 자상의 경우 시간이 경과할수록 낮은 흡광도를 갖는 것이 관찰되었는데 이와 같은 현상은 자상 부위가 건조됨에 따라 수분의 함유량이 감소되었기 때문인 것으로 판단된다.



(a) Bruise



(b) Cuts

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

#### 나. 결점의 컬러 특성

정상과 40개, 타상 18개, 자상 16개, 병반 26개에 대하여 색체계를 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 색 인자인 것으로 나타났다.

Table 1 Result of Duncan's multiple range test for defect color

( $\alpha = 0.05$ )

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

\*GC : Ground color \*\* SC : Surface color

하지만 색 인자에 의한 결점의 검출은 <그림 4>에서 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 황색 계열의 사과와 경우 타상과 자상의 색상이 착색 부위와는 많은 차이가 있으므로 이를 검출하는 것이 가능할 것으로 보이나 본 연구에서 대상으로 하는 후지의 경우 결점 부위의 색상과 착색의 색상 사이에 큰 차이를 보여주지 않으므로 컬러에 의한 결점 검출은 어려울 것으로 판단하였다.

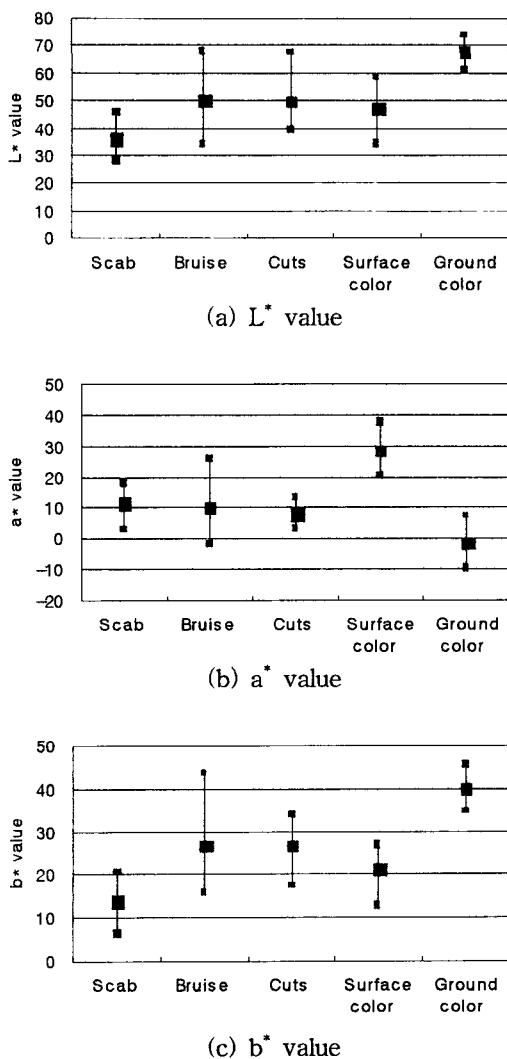


Fig. 4 Distribution of  $L^*a^*b^*$  values measured at each defective part.

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

#### 다. 근적외선 유의 파장 선정

근적외선 파장을 결정하기 위하여 샘플 시료를 대상으로 15개의 근적외선 대역에서의 화소치를 구하고 Mahalanobis 거리를 사용하여 판별 가능성을 조사하였다. <그림 5>는 각 파장대역에서 정상 부위와 결점 부위의 Mahalanobis 거리를 나타낸 것으로서 각 파장별 결점 검출 가능성을 보여주고 있다. 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.

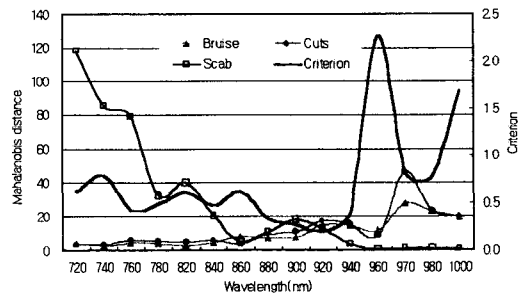


Fig. 5 Mahalanobis distance computed with the filter images.

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 사과와 주오 결점인 병반, 타상 및 자상을 검출하기 위한 기초연구로서 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 측정 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.

#### 5. 참고문헌

1. 노상하, 이수희. 1998. 한국형 과실선별 시스템 기술 개발(위탁과제 완결보고서). 통상산업부
2. 서상룡, 성제훈. 1997. 컴퓨터 시각에 의한 사과 결점 검출, 한국농업기계학회지 22(2) :

217-226

3. Davenel, A. et. al. 1988. Automatic detection of surface defects on fruit by using a vision system. J. agric. Engng Res. 41 : 1~9
4. Heinemann, P. H. et. al. 1995. Machine vision inspection of 'Golden Delicious' apples. Applied Engineering in Agriculture 11(6) : 901~906
5. 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