

영상처리장치를 이용한 후지 사과의 밀병 판정

Detection of Watercore in Fuji apples using Image Analysis System

류동수* 이수희* 이종환** 노상하*

정회원 정회원 정회원 정회원

D.S.Ryu S.H.Lee J.H.Lee S.H.Noh

1. 서론

밀병(watercore)은 사과의 생리적 장애의 일종으로 잎에서 생성되어 과일로 전이된 솔비톨(sorbitol)이라는 물질과 물이 관다발 주위의 세포 조직내 공간에 축적 된 것이다.(Marlow,1984;Myers,1983), 주로 과일의 숙성 말기에 발생하며, 밀병의 형태는 관다발을 중심으로 수침상의 형태로 분포하게 된다. 이러한 밀병은 저온 저장시 주변조직을 파손시켜 내부갈변이나 부패를 가져오므로 등급저하를 야기시키고, 경제적 손실을 가져온다. 밀병의 원인이나 생리적 변화에 대해서는 아직도 명확하게 밝혀진 것은 없으나, 밀병의 생성에 영향을 미치는 인자는 성숙도, 온도, 과일수 대 잎수의 비, 재배환경, 과일의 크기, 품종 등으로 알려져 있다. 밀병증상의 발생은 품종간에 차이가 있으며, 델리셔스, 레드골드, 후지 및 홍로 등에 현저하게 발생하고, 골덴 델리셔스, 쓰가루, 육오 등의 품종에서는 거의 발생하지 않는 것으로 알려져 있다. 밀병은 사과를 잘라보기 전에는 알수 없으므로 밀병을 비파괴적으로 검출하기 위한 많은 연구가 지속적으로 수행되고 있다.

밀병을 검출하기 위한 방법으로 비중차이, 투과광, X 선, MRI 영상등을 이용한 방법 등이 있으나, 기술적인 어려움이나 경제성 등의 여러 원인에 의해, 어느 것도 아직 실용화되지 못하였다. 또한 투과영상을 영상처리장치로 분석하여 밀병 판정을 시도한 연구(Throops et al.,1989,1994)가 있었으나, 이는 레드 델리셔스 계통의 사과를 대상으로 하였으며, 국내에서 대부분 재배되고 있는 후지의 경우는 영상처리장치를 이용하여 밀병판정을 한 예는 없었다.

본 연구에서는 후지사과에 대하여 밀병 판정에 영향을 미치는 인자를 찾아내고, 이 인자를 이용, 판별분석을 수행하여 판별함수를 제시한다. 사과의 투과영상에서 밀병과 관련된 정보를 얻고 흑백 영상처리장치의 밀병 판정예의 이용 가능성을 구명하고자 한다. 또한 실시간 판정장치의 개발을 위한 기초연구로 시료의 자세에 따른 영향을 알아 보고자 한다.

* 서울대학교 농업생명과학대학 생물자원공학부

** 안성산업대학교 농학부 생물자원기계학과

2. 재료 및 방법

2.1 공시재료

본 연구에서는 1997년도 1월에 시중에서 구입한 충북 제천산 후지(Fuji) 사과를 대상으로 하였다. 구입한 사과는 영상을 획득하기 전까지 약 3주일간 저온저장고에 저장후 실험에 사용하였다.

2.2 실험장치

실험장치는 시료에 광을 투과시키기 위한 광원장치, 사과를 위치시키기 위한 시료대, 영상처리장치 및 컴퓨터로 구성하였다. (Fig. 1)

사과에 광을 투과하기 위해서는 고에너지의 광이 요구된다. 본 실험에서는 광원으로 텅스텐 할로겐 램프(DC 12V, 100W)를 이용하였고, 전원장치는 GLS-V100C(한라엔지니어링)을 사용하였다. 시료를 중심으로 광원의 반대편에 설치된 카메라에는 투과광 뿐만 아니라 시료의 측면을 따라서 직접 노출되거나 반사된 광도 함께 포착되었기 때문에 이를 최소화 하기 위해 차단판을 제작하였으며, 시료대의 역할도 할 수 있도록 설치하였다.

또한 주위의 광이 시료대 내부로 들어오는 것을 막기 위해 시료대를 광차단 커튼으로 감싸고, 광원 주위의 온도가 상승하는 것을 막기 위해 팬을 부착하였다.

광원의 세기 및 카메라 시스템에 따라 측정되는 광량에 차이가 있을 것으로 판단되어 이들이 미치는 영향을 배제하기 위해 광원으로부터 시료대의 입구(사과의 밑면)에 조사되는 광의 세기를 56000 lux로 하고, 시료대 윗면에서부터 카메라까지의 거리를 50cm, 카메라의 조도는 최대로 고정하였다.

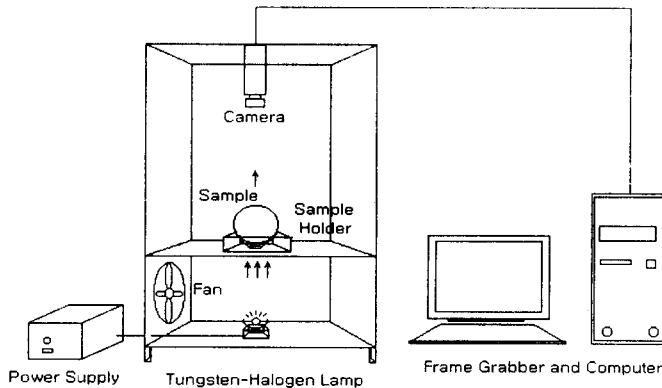


Fig. 1 The schematic diagram of the overall system

영상처리장치는 흑백 프레임그래버(DT3155, Data Translation Inc.), 흑백 CCD 카메라(TM-545, PULNiX) 및 컴퓨터(Pentium 120MHz)로 구성하였다. 영상분석을 위한 알고리즘은 OpenLayer Frame Grabber SDK(Data Translation, Window 95/NT용)를 사용하여 프로그래밍하였다.

2.3 실험방법

2.3.1 밀병판정에 영향을 미치는 인자 구명

투과도를 이용한 밀병판정은 투과도 이외에 몇가지 인자들에 의해 영향을 받는 것으로 판단되어, 각 시료의 비중, 과고(투과길이), 과경(최대, 최소 및 평균직경) 및 투영면적을 측정하였고, SAS ver. 6.12(SAS Institute Inc.)를 이용, step-wise 변수선택법으로 유의한 인자를 찾아내어, 이 인자들을 이용하여 판별분석을 수행하였다.

3.3.2 평균화소치의 측정

영상에서 측정된 평균화소치를 투과도의 기준으로 하였다. 사과와 꼭지 부분을 위쪽으로 하여 시료대 위에 놓고, 암실 상태에서 투과 영상을 획득하였다. 획득된 영상에 대해서는 Fig. 2 및 Fig. 3과 같이 사과영상의 중심으로부터 사과의 투영면적에 해당하는 원의 0.2~0.8배 반경이 되는 동심원을 설정하고, 동심원내의 화소를 분석대상으로 하였다. 사과영상의 중심부위의 경우, 씨방을 통해 산란·투과되는 광의 양이 많기 때문에, 반경의 0.2배 이하 영역은 영상분석에서 제외하였다. 또한 투과광이 아닌, 광원으로부터 사과의 표면으로 반사된 광이 카메라에 입사되는 경우가 많기 때문에, 이러한 상황을 고려하기 위해서 반경의 0.8배 이상이 되는 영역도 영상분석에서 제외하였다. 획득된 영상에 대하여 영상영역화(segmentation)를 수행하여, 배경은 제거하고 전체 투과 영상에서 이 영역에 대한 평균 화소치(gray level)를 구하였다. 상대적인 값으로 나타내기 위하여 측정된 평균화소치에 대해서 최대 화소치(255)로 나누어 상대 화소치로 환산하였다.

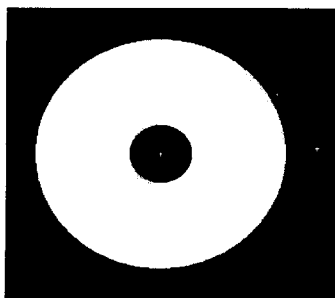


Fig. 2 Image of apple without watercore

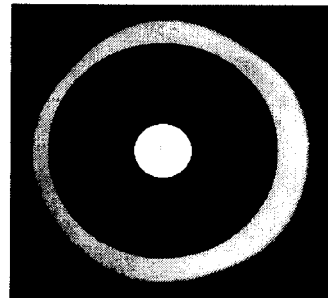


Fig. 3 Image of apple with watercore

상대화소치를 계산한 다음, 사과를 절단하여 실제 내부상태(밀병의 유무 : 다양한 밀병의 정도를 갖는 시료의 확보가 어려웠음.)를 육안으로 조사하였다. 이렇게 육안으로 판정한 밀병의 유무로서 두개의 그룹으로 나누고, 상대 화소치와의 관계를 이용하여, 투과영상을 이용한 밀병판정 가능성을 구명하고자 하였다.

또한 온라인 판정장치 개발의 기초연구로, 시료대에 놓이는 사과의 자세에 따른 영향을 알아보기 위하여, 사과의 꼭지-밀면(stem-calyx)축에 대하여 0, 30, 60 및 90°의 각도로 기울이고, 각각의 영상을 획득하여 분석해 보았다.

3. 결과 및 고찰

3.1 밀병판정에 영향을 미치는 인자

SAS를 이용하여 밀병판정에 영향을 미치는 인자를 찾아내고, 판별분석을 하였다. 사과
과의 밀병판정에 영향을 미치는 인자는 상대화소치, 투과길이(과고), 비중, 투과폭(과경)
및 투영면적 등이다. Table 1은 step-wise 변수선택법을 이용하여 밀병의 판정유무에 영
향을 미치는 인자를 찾은 결과이다.

Table 1 Results of step-wise selection method

Variables	Partial R ²	F Statistics	Prob > F	Wilks' Lambda	Prob > Lambda
Relative gray level	0.6567	80.356	0.0001	0.34326	0.0001
Height of apple	0.1837	9.226	0.0041	0.28021	0.0001

3.2 밀병판정 가능성

밀병판정에 가장 큰 영향을 미치는 인자는 상대화소치 및 과고(투과길이)인 것으로 결
정되었다. 이 두 인자에 대하여 판별분석을 수행한 결과 Table 2와 같이 선형판별함수의
계수가 결정되었다.

Table 2 Coefficients of discriminant function

	Group 1	Group 2
Constant	-199.74857	-253.03446
Relative gray level	3.41141	4.42998
Height of apple	4.75535	5.19554

이 계수를 이용하여 선형판별함수를 다음과 같이 제시하였다.

$$y = (4.42998 - 3.41141) \times (\text{Relative gray}) + (5.19554 - 4.75535) \times (\text{Height})$$

유효한 인자를 고려하여 밀병 유무에 의해 두 개의 class로 나눌 때, 밀병의 유무에 따
른 상대화소치를 나타낸 것은 Fig. 4~Fig. 7의 그림과 같다. 여기서 group 1은 밀병이
없는 시료이며, group 2는 밀병이 있는 시료를 나타낸다.

밀병판정에 가장 큰 영향을 미치는 인자는 상대화소치 및 과고였으며, group 1과
group 2의 R²는 각각 0.57, 0.48로 낮은 경향을 보였다. 이는 충분한 양의 시료로 데이타
를 얻지 못한 것이 원인으로 생각되지만, 흑백 영상처리장치를 이용한 밀병판정 가능성
은 충분하다고 판단된다. 이 외에도 비중, 최대직경 및 투영면적 등이 약간의 영향을 미
치는 것으로 판별되었다.

3.3 시료대에 놓이는 자세의 영향

온라인 판정장치의 개발에 대한 기초연구로 시료대에 놓이는 사과의 자세에 대한
영향을 살펴보았다. 꼭지부에서부터 30° 간격(0, 30, 60, 90°)으로 획득한 영상은 Fig.
8(group 2)과 같다. 밀병의 유무 및 각도의 변화에 따른 상대화소치의 변화를 Fig. 9와
같이 나타내었다. group 1(R²=0.919)의 경우는 상대화소치의 변화가 거의 없음을 보이고

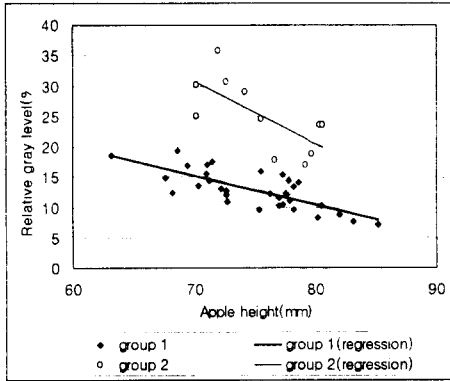


Fig. 4 Apple height vs. Relative gray level

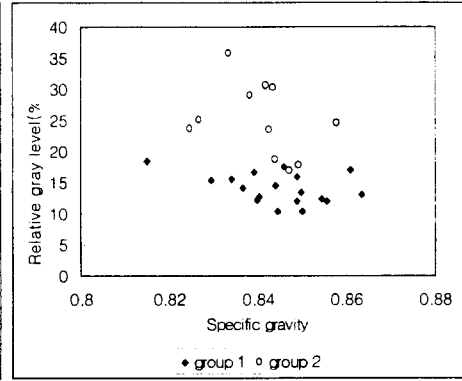


Fig. 5 Specific gravity vs. Relative gray level

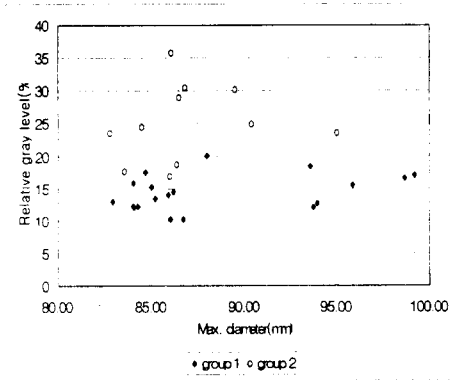


Fig. 6 Max diameter vs. Relative gray level

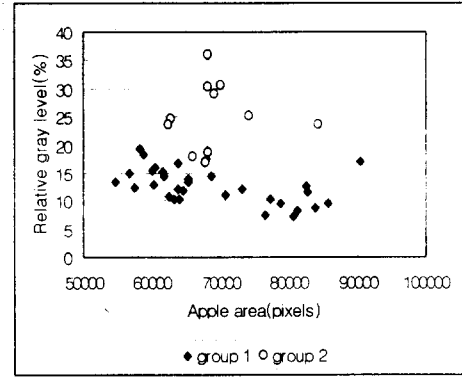


Fig. 7 Apple area vs. Relative gray level

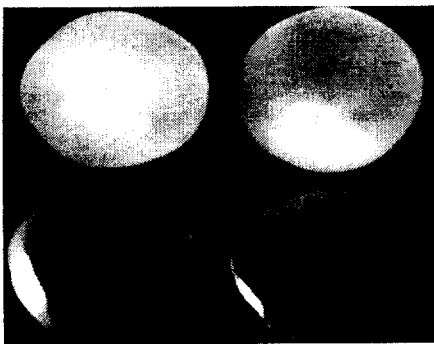


Fig. 8 Images rotated 0, 30, 60, and 90 degrees in watercore-apples.

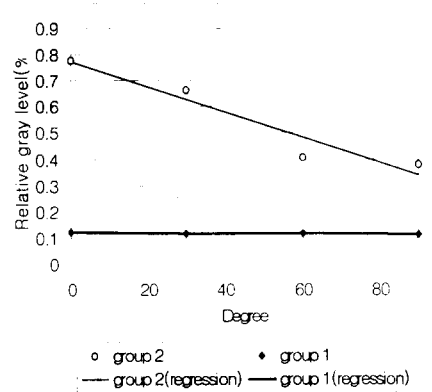


Fig. 9 The changes of relative gray level with stem-calyx angle

있으며, group 2($R^2=0.941$)는 꼭지-밀면 축에 대하여 각도가 커짐에 따라 거의 선형적으로 상대화소치가 감소함을 보이고 있다.

4. 요약 및 결론

본 연구는 사과내부의 밀병을 판정하는데 있어서 흑백 영상처리장치의 이용 가능성을 타진하고자 수행되었다. 사과영상 반경의 0.2~0.8배가 되는 영역을 설정하고 이의 평균화소치를 계산하였다. 상대화소치를 투과광량의 측정인자로 이용하였고, 밀병판정에 영향을 미치는 인자를 구명하고자 하였다. 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

가. 밀병판정에 영향을 미치는 가장 유의한 인자는 상대화소치, 사과의 과고(투과길이)임을 구명하였다.

나. 사과 밀면에 입사되는 광의 세기가 56000 lux일 때, 밀병의 판정에 대한 판별식을 제시하였다. 이 식을 이용할 경우, 상대화소치가 약 20%이상인 경우 밀병이 들어 있는 사과로 판정할 수 있었다.

다. 온라인 밀병판정장치의 기초연구로 시료의 자세에 따른 영향을 살펴보았다. 밀병이 없는 시료의 경우, 상대화소치의 변화가 거의 없었고($R^2=0.919$), 밀병이 있는 시료의 경우는 각도가 변화함에 따라 상대화소치가 거의 선형적으로 변화하였다.($R^2=0.941$)

라. 다른 시스템에 비해 저렴한 비용으로, 사과 내부의 결함(밀병, 갈변 등) 판정에 있어서, 흑백 영상처리장치를 이용하는 것이 충분한 가능성이 있다는 것을 알 수 있었다.

마. 본 연구에서는 다양한 패턴을 갖는 밀병시료를 확보하지 못하여 밀병 유무의 판정 가능성만을 살펴보았으나, 여러 가지 패턴의 시료에 대하여 밀병의 정도를 정량화하는 연구가 좀 더 필요하며, 컨베이어 벨트등을 이용한 온라인 판정장치 개발 가능성에 대해서도 많은 연구가 필요하다고 사료된다.

5. 참고문헌

1. 노상하. 1996. 사과의 비파괴 내부품질 판정기술 개발. 과학기술처 연구보고서.
2. 황장선. 1996. 영상처리를 이용한 현미의 품위판별 알고리즘 개발.
서울대학교 대학원 석사논문
3. G.C.Marlow and W.H.Loesch. 1984. Watercore. Scientific paper #6665.
Washington state University.
4. J.A.Throop, et al. 1989. Application of Computer Vision Detecting Watercore in Apples. Transaction of ASAE. Vol.32(6):
5. J.A.throop, et al. 1994. Camera System Effects on Detecting Watercore in 'Red Delicious' Apples. Transaction of ASAE. vol.37(3):873-877