

광센서를 이용한 과채류 내부이상 판별방법

이형구
한국산업기술대학교 게임공학과
hgl@kpu.ac.kr

Detection Method of Internal Defect of Fruit by Photodiode

HyoungGu LEE
Dept of Game & Multimedia Eng., Korea Polytechnic University

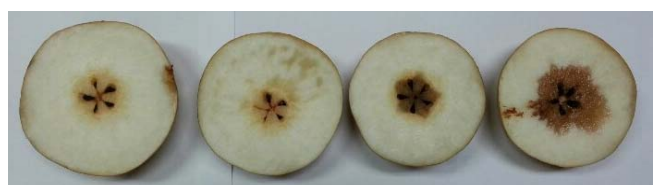
요 약

사과나 배 등의 과일을 장기저장하거나 유통하는 과정에서 가장 문제가 되는 것은 내부갈변이나 부패 등의 내부결점이다. 내부결점은 사람의 육안이나 현행 중량선별방식으로는 식별이 불가능하며, 일부 보급된 내부품질 측정 장치는 고가의 외산장비가 대부분이다. 본 연구에서는 사과와 배의 갈변이나 부패 등의 내부결점을 비파괴적이면서도 저렴하게 검출할 수 있는 방법을 소개한다. 먼저 내부결점을 검출하기 위한 최적의 가시광 및 근적외선 파장대역을 선정하고 기존의 고가 외제 분광광도계를 대체할 수 있는 광다이오드를 선정하여 시작기를 개발한다. 시작기를 통한 실험에서 제안한 방법의 내부이상 판별 정확도는 90% 이상이었다.

1. 서론

사과나 배 등의 장기저장 및 유통과정에서 가장 문제가 되는 것은 내부갈변이나 부패 등의 내부결점이며, 내부결점 과일이 소비자에게 도달했을 경우 클레임의 요인이다. 과일의 내부결점은 사람의 육안이나 현행 중량선별방식으로는 식별이 불가능하다. 내부이상의 상태에 따라 그림 1에서 보는 바와 같이 '정상(1)'과 내부이상 '약간(2)' 그리고 '심함(3)'으로 클래스를 구분할 수 있다.

대규모 선과장이나 농산물산지유통센터(APC)에 보급된 내부품질 측정장치(농산물 비파괴 선별기)는 1억원에 달하는 고가의 외제장비가 대부분으로 영세한 개인농가로의 보급에는 한계가 있다. 농산물 비파괴 당도 선별기를 이용하여 당도 선별과 함께 내부이상 과일을 선별하기도 하지만 그 비율은 5%에도 미치지 못하는 실정이다.



(그림 1) 내부이상 정도에 따른 클래스의 구분 : 좌에서 우로 1-2-3-3

일본을 비롯한 외국의 비파괴선별기도 국내와 비슷한 실정으로 내부결점을 선별하는 저렴한 비파괴 측정기는 거의 보급이 되지 않았다.

광다이오드를 이용한 내부이상 검출장치는 전국에 보급되어 있는 농산물 비파괴 당도선별기에 추가 장착하여 사용할 수 있으며, 가격이 저렴하기 때문에 개인농가와 같은 소규모 선별장에도 널리 보급이 가능하다.

분광계는 정밀한 광학장비로써 거의 대부분을 수입에 의존하고 있는 고가의 장비이다. 따라서 상대적으로 정밀도가 요구되는 과일의 당도와 산도 등의 정량분석을 하기 위해 사용되고 있으며, 극소수의 선별장에서는 분광계를 이용하여 내부품질을 판정하기도 한다.

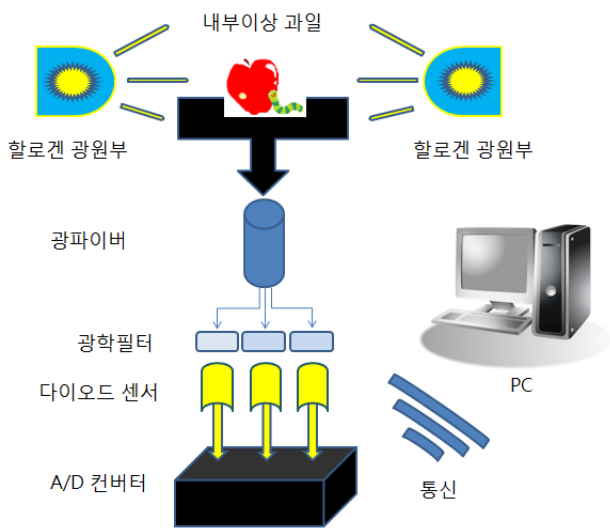
본 연구에서는 내부이상의 특징적인 패턴을 구명하여 저렴한 광다이오드를 사용한 내부이상 검출 장치의 제작이 가능하게 한다.

과일의 비파괴 선별기술은 거의 대부분 성분분석에 집중되어 있으며, 사과나 배의 밀병이나 부패 등에 대한 상용화된 기술은 없는 실정이다. 따라서 본 연구에서 제안하는 '광다이오드를 이용한 내부이상 검출 기술'은 기존의 고가, 외제의 분광계를 사용하지 않는 최초의 농산물 내부품질 측정 방법으로서 그 의미를 가지며, 향후 내부품질 측정기의 경량화와

가적인하에 큰 기여를 할 것으로 기대된다. 2장에서는 시스템 구성을 설명하며 3장에서는 제안된 내부이상 측정 모델의 소개 및 실험 내용이 기술되며 4장은 결론이다.

2. 시스템 구성

투과광을 획득하기 위해 제작한 실험장치의 구성도는 그림 2와 같다. 실제 보급되어 있는 농산물 비파괴 당도선별기와 동일한 구조와 사양으로 구성되었다.



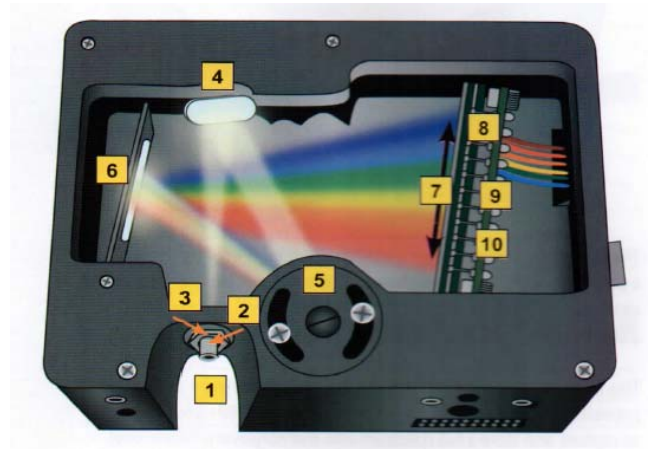
(그림 2) 투과광을 측정하기 위한 광센서의 구성도

양 측면의 할로겐 램프에서 트레이에 담겨있는 과일에 빛을 조사하고, 투과된 광이 광파이버와 3개의 광학필터를 통해 포토다이오드로 전달된다. 광학필터를 통과하면서 특정파장의 광량으로 바뀌고 포토다이오드는 각 파장별 투과광량을 전압으로 변환시켜서 A/D 컨버터로 전송한다. 전송된 광량은 A/D 컨버터와 PC 사이의 통신을 통해 판별프로그램으로 입력된다.

3. 내부이상 측정 모델

농산물의 내부품질 측정에 주로 사용하는 분광계(spectrometer)는 파장별 빛의 강도를 검출하는 광센서로서 그림 3과 같은 구조를 하고 있으며, 높은 광학적, 전기적, 기계적 안정성이 요구되는 고가의 정교한 장치이다. 특히 파장의 분해능과 범위를 결정하는 회절격자(grating)와 파장별 빛의 강도를 검출하는 CCD array detector는 분광계 제작시 특화

된 기술을 요하는 부분으로 분광계를 수입에 의존하는 주요 원인이 되고 있다.

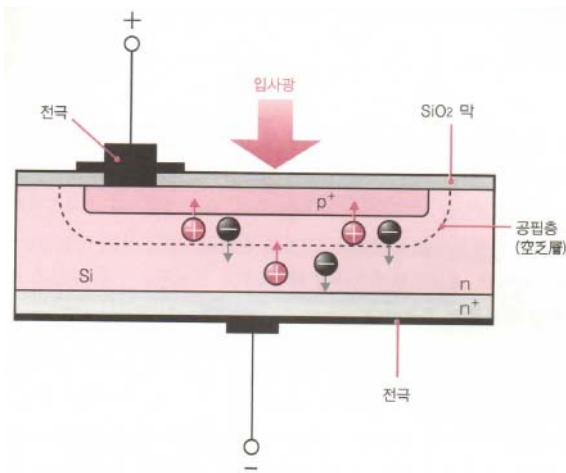


1. SMA905 Connector
2. Entrance Slit
3. Longpass Absorbing Filter
4. Collimating Mirror
5. Grating & Wavelength Range
6. Focusing Mirror
7. L2/L4 Detector Collection Lens
8. CCD Array Detector

(그림 3) Spectrometer의 구조 (Ocean Optics)

과일의 밀병이나 내부이상은 당도예측의 정량분석과 달리 투과광의 패턴을 추출하여 내부이상을 예측하는 것이 가능하기 때문에 분광계 대신 저렴한 광센서를 이용하여 내부이상 판별장치를 구성하였다.

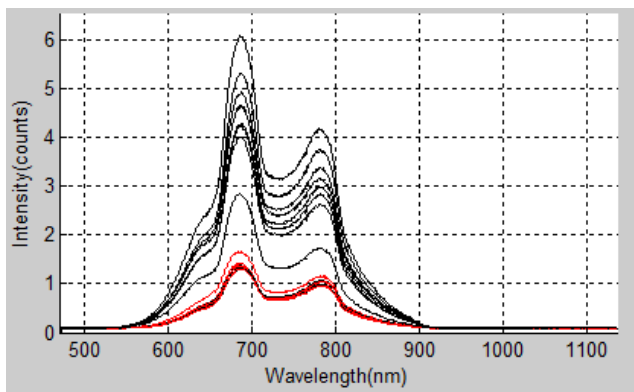
본 제안에서 사용한 광센서는 그림 4에서 보는 바와 같은 실리콘(Si)의 pn접합을 사용한 PN포토다이오드로써 기존의 분광계와 동일한 감도 특성을 갖고 응답속도도 수십 ns 정도로 내부이상 측정에 사용할 시 수 십 ms 단위로 측정할 수 있기 때문에 고가의 분광계 대체제로 적합하다.



(그림 4) 포토다이오드의 단면

3.1 투과 스펙트럼의 개형

검출기의 적절한 파장을 선정하기 위해서 정상과와 내부이상과의 투과 스펙트럼 패턴을 비교하였다. 사용한 시료는 성환지역에서 2013년 수확한 신고배로써 그림 5에서 볼 수 있듯이 687nm, 733nm, 781nm에서 봉우리와 골을 형성하며 스펙트럼의 개형을 만들고 있다. 내부이상과는 정상과에 비해 687nm와 781nm의 광량이 비슷하게 나타나고 심지어는 781nm의 광량이 더 높은 것으로 나타났다.



(그림 5) 배의 정상과(흑)와 내부이상과(적)의 전형적인 투과스펙트럼

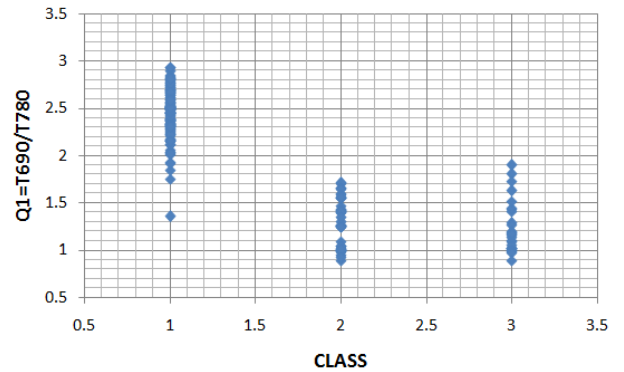
따라서 본 제안에서는 690nm, 730nm, 780nm의 광학필터와 포토다이오드의 조합으로 내부이상 판별 센서를 구성하였다.

본 제안에서는 과일의 내부이상을 검출하기 위하여, 클래스마다 서로 다른 주성분을 적용함으로써 예측 성능이 우수한 것으로 알려져 있는 SIMCA(Soft Independent Modeling of Class Analogy)[1]기법을 사용하였다. SIMCA기법은 통제형(supervised) 판별

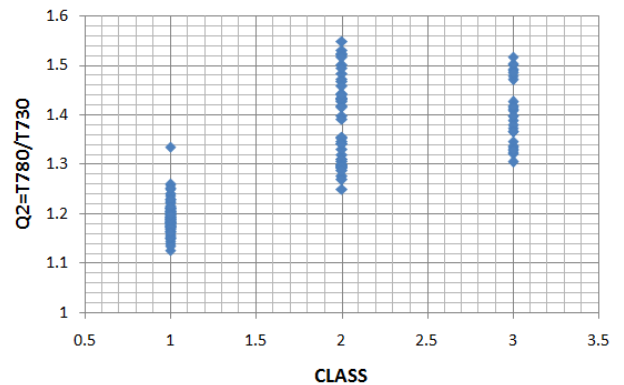
기법으로 각 클래스를 독립적으로 취급하며, 각 클래스의 특성을 나타내는 주성분을 PCA[2](Principal Component Analysis)에 의해 추출하고, PCA모델과 미지시료 사이의 직교투영(orthogonal projection) 거리를 계산하여 각 클래스로 판별하는 방법이다.

3.2 광센서를 이용한 내부이상 판별모델

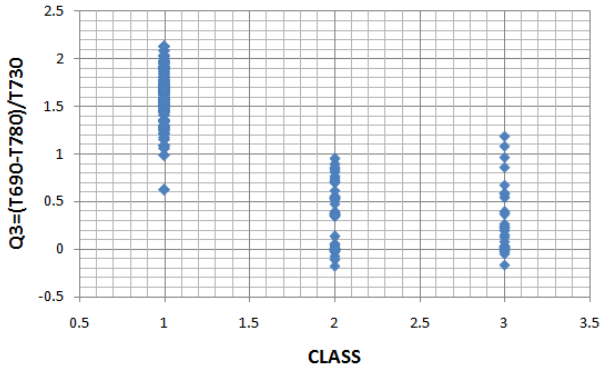
3세트의 광학필터와 포토다이오드를 이용하여 수광부를 구성한 경우 투과광은 T690, T730, T780의 값으로 나타나며 이 세 값의 조합을 통해 내부이상과를 검출하게 된다. 본 제안에서는 판별인자로 투과율의 비 $Q1=T690/T780$, $Q2=T780/T730$, 정규화된 차(normalized difference) $Q3=(T690 - T780)/T730$, 그리고 세 점이 이루는 각 $Q4=<T690T730T780$ 을 이용하여 판별분석을 수행하였다. 판별분석 결과는 그림 6과 표 1에 나타내었다.



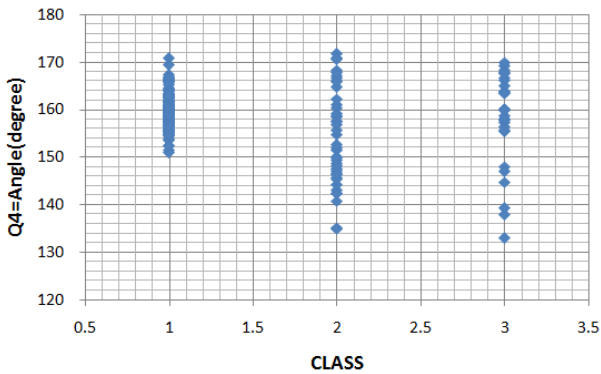
(a) 판별인자 : $Q1=T690/T780$



(b) 판별인자 : $Q2=T780/T730$



(c) 판별인자 : $Q3=(T690 - T780)/T730$



(d) 판별인자 : $Q4=<T690T730T780$

(그림 6) 광센서를 이용한 판별분석 결과

그림을 통해 알 수 있듯이 3개 과장의 광센서 신호를 이용한 판별인자를 사용할 경우에는 내부부패가 ‘약간’과 ‘심함’의 구분은 불가능하지만 정상과 내부부패과의 판별은 가능한 것으로 나타났다. 실용적인 관점에서는 비록 내부부패과의 정도를 분별할 수준은 아니지만 현장에서 내부이상과를 검출하는 데에는 유용한 방법이 될 수 있음을 의미한다. 가장 우수한 성능을 보여준 판별인자는 $Q2=T780/T730$ 이었으며, 이때에는 특히 ‘정상과’와 ‘심함’의 구분이 쉽게 이루어짐을 알 수 있다.

<표 1> 광센서를 이용한 판별분석의 결과

(a) 판별인자 : $Q1=T690/T780$

Result class	정상	부패과	선별효율(%)
정상(1)	122	6	88.4
부패과(2,3)	5	67	

(b) 판별인자 : $Q2=T780/T730$

Result class	정상	부패과	선별효율(%)
정상(1)	123	5	90.5
부패과(2,3)	4	68	

(c) 판별인자 : $Q3=(T690 - T780)/T730$

Result class	정상	부패과	선별효율(%)
정상(1)	122	6	89.8
부패과(2,3)	4	68	

(d) 판별인자 : $Q4=<T690T730T780$

Result class	정상	부패과	선별효율(%)
정상(1)	93	35	44.9
부패과(2,3)	20	52	

4. 결론

내부이상과의 검출은 과일의 유통에 있어서 가장 치명적인 결함이 되므로 과일 농가 및 유통업자에게 유용하면서도 경제적인 상품이 될 것으로 기대되지만, 내부이상을 검출하는 비파괴 센서는 아직 본격적으로 실용화되지 않은 상품이다.

본 논문에서 소개된 내부결점을 비파괴적이면서도 저렴하게 검출할 수 있는 모델은 비파괴 품질측정 장치에 있어서 분광계를 대체할 수 있는 부품 개발의 시초로써 향후 활발한 연구를 유도할 것으로 기대된다.

내부이상과의 판별분석 결과는 우수한 것으로 나타났다. 판별모델이 기존의 비파괴 당도선별기에 탑재될 경우 별도의 하드웨어 추가없이 내부이상과를 선별할 수 있는 계기가 될 것으로 예상된다. 당초 제안된 시스템의 목표는 내부이상과 선별정확도 95%를 달성하는 것이었으나 시기상 내부이상과의 확보가 어려워 충분한 자료를 수집하지 못하여 연구가 원활하지 못하였으며, 그로 인해 광센서 선별정확도가 90% 정도에 그쳤다. 향후 상용화를 위해서 조속히 보완할 계획이다.

참고문헌

[1] R. De Maesschalck "Decision criteria for soft independent modelling of class analogy applied to near infrared data" Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems, 47(1), pp. 65-77, 1999
 [2] I. T. Jolliffe "Principal Component Analysis" second Ed. Springer, 2002