

당도판정을 위한 광다이오드식 사과선별기 개발⁺

Development of Apple sorter by Soluble Solid contents using Photodiodes

최규홍* 이강진* 박보순** 조영길*
정희원 정희원 정희원 정희원
K.H. Choi K.J. Lee B.S. Park Y.K. Joh

1. 서론

과실류의 생산에 있어서 생산량이 가장 많은 과실은 사과로서, 1996년말 현재 651천M/T으로 감귤과 포도의 생산량 514천M/T와 357천M/T보다 훨씬 많다. 따라서, 무역자유화 시대의 대외 경쟁력면에서 사과가 경쟁력 있는 작목으로 인정받고 있는 요즘 사과의 품질향상을 위한 연구는 더욱 중요하다고 할 수 있다.

식품의 질보다 양을 중시하던 시절에 필요했던 스프링을 이용한 중량식 선별기가 품질을 중시하게 된 소비성향의 변화로 색깔까지 판정할 수 있는 영상처리식 선별기가 개발보급되고 있으며, 또한 이러한 육구는 외부의 색깔뿐만 아니라 내부의 맛까지 선별해 낼 수 있는 선별기를 필요로 하게 되었다.

본 연구에서는 소비자가 느끼는 맛과 관련된 가장 중요한 인자인 당도를 비파괴적이면서 실시간으로 측정하여 선별할 수 있는 사과선별기를 개발하기 위해 근적외선 파장대역의 필터와 광다이오드 센서를 이용하여 시작기를 제작하고, 과일의 크기에 따른 광다이오드 센서 신호를 보정하기 위한 레이저거리센서를 부착하여 그 신호의 이용가능성과 시작기의 선별성능을 조사하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 근적외선 내부품질 판정시스템의 주요 구성부 및 제원

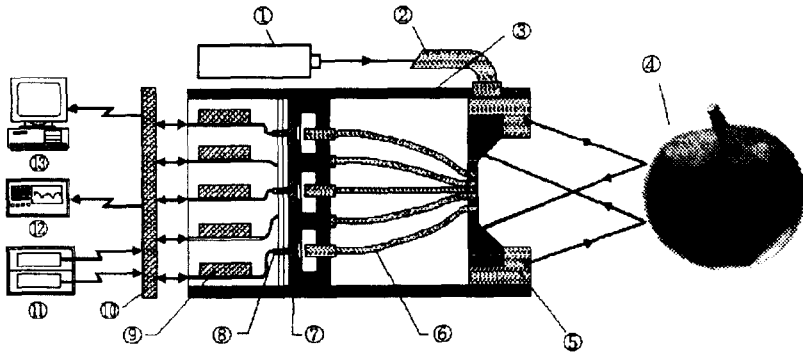
근적외선을 발생시키기 위하여 할로젠 램프(150W)를 광원으로 한 장치를 제

+ 이 연구는 농촌진흥청 농업기계화연구소와 미국 농무성 농업연구청(USDA, ARS) 사이에 수행되고 있는 한미국제공동연구과제인 "비파괴 과실품질판정기술 개발(Non-destructive quality evaluation of fruits)"의 일환으로 수행된 것임.

* 농촌진흥청 농업기계화연구소

** Instrumentation & Sensing Lab. NRI/ARS/USDA. U.S.A.

작하였고, 여기서 발생한 빛을 집적하여 시료로 사용할 수 있도록 45°의 각도를 낸 링타입의 광화이버를 시료로 조사하게 하였다. 시료에서 반사된 빛은 그림 1에서 보는 바와 같이 링타입 광화이버의 중앙에 배치된 5개의 광화이버에 있는 근적외선 파장대역의 간섭필터(Corion, U. S. A.)를 이용하여 각각의 파장대역의 근적외선만을 통과시킨 다음, 필터의 뒷면에 밀착되어 있는 광다이오드센서로 광량(光量)을 측정하게 하였다.



- ① Illuminator ② Light guide ③ Frame ④ Object
- ⑤ Ring light(fiber optic) ⑥ Light guide(fiber optic) ⑦ Filter
- ⑧ Photodiode ⑨ Amplifier ⑩ PCB
- ⑪ Power supply ⑫ Oscilloscope ⑬ Computer

Fig. 1 Schematic diagram of apple sorter.

시스템의 제원은 표 1에 나타난 바와 같으며, 여기서 사용된 근적외선 필터의 유효파장은 850nm, 900nm, 1,000nm, 1,050nm, 1,100nm로서 파장띠나비는 모두

Table 1. Specification of reflectance measurement system

Item		Specification
Geometry		○ Size : 623(L)×1045(H)×342(W)
Optic parts	1) Light source	○ Quartz halogen lamp : 150W
	2) Concentration and division of light	○ Concentrating part : Manual ○ Dividing part : 1-inlet/5-outlet branch type - Inlet : Ring light(fiber optic) - Outlet : Fiber optic
	3) Photo-detection & NIR filter	○ Detector : 5 Si PIN Photodiodes ○ Filter : 850, 900, 1,000, 1,050, 1,100nm
	4) Distance detection	○ Fiber optic sensor
Electrical parts		○ Power source : 12V DC ○ Circuit for sensor operating and amplifier

20nm였다. 또한 사용된 광다이오드는 기존의 적외선 센서들이 온도와 외부 작업환경에 민감하여 장치 및 회로의 구성이 복잡한 점을 고려하여, 상온에서도 감도가 좋고 가격이 저렴한 실리콘 타입을 채택하였다.

과일의 크기에 따라서 반사되는 면과 광다이오드센서와의 거리가 달라지면 센서에서 출력되는 신호에 차이가 생기므로 이를 보정해 주기 위하여 레이저를 이용한 거리센서를 장착시켜 과일 표면과 센서표면과의 거리를 측정하여 출력하게 하였다.

2.2 시스템의 성능시험

여기서 제작한 광다이오드식 당도판정시작기를 실시간으로 작동시키기 위하여 컨베이어 이송시스템에 장착하여 성능시험을 실시하였다. 이송속도는 시간당 5,500개의 과일을 선별할 수 있는 속도(22cm/s)로 고정하였으며, 공시재료로는 충남 예산의 예산능금조합에서 1997년산 후지사과 132개를 구매하여 사용하였다. 이송시스템에 과일을 올려놓는 작업은 인력에 의해 실시하였으며, 모두 꼭지가 위로 향하게 하여 과일의 적도부위에 빛이 조사되도록 한 후 반사광을 측정하였다.

먼저 크기가 다른 사과를 이용하여 850, 900, 1,000, 1,050, 1,100nm 각각의 필터에 대한 반사도를 측정하여 거리에 따른 파장별 센서출력특성을 조사하였고, 과일의 크기를 고려한 보정식을 만들어 그 특성을 보정하였다.

그리고, 보정된 출력을 이용하여 사과의 당도를 판정하기 위한 다중회귀모델을 작성한 후, 13bx 이상을 1등급, 13bx 미만을 2등급으로 판정했을 경우의 선별정확도를 평가하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 거리에 따른 필터별 광다이오드출력특성

850, 900, 1,000, 1,050, 1,100nm 각각의 필터에 대하여 크기가 다른 사과의 반사도를 측정한 결과는 그림 2에서 보는 바와 같이 나타났다.

거리에 가장 민감하게 반응한 필터는 1,050nm의 필터였으며, 가시광선에 가까운 파장대역의 필터(850nm)는 거리에 둔감한 출력을 보였으나 파장과 광다이오드의 출력이 비례하지는 않았다.

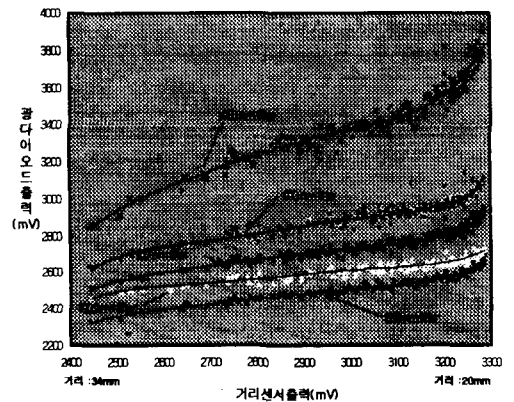


Fig 2. Spectroscopy with reference to wavelength and distance.

광다이오드의 출력은 그림 2와 같이 시료 표면에서 광다이오드 표면까지의 거리에 따라 필터마다 다르게 나타났는데, 각각의 필터에 대한 광다이오드의 출력 특성식을 만들기 위하여 거리를 독립변수로 하고 광다이오드의 출력을 종속변수로 하는 오차항의 특성방정식을 표 1과 같이 작성하였다. 각 필터에 해당하는 광다이오드의 출력 특성식 계수는 $c, a_1, a_2, a_3, a_4, a_5$ 로 나타났다.

Table 1. Distance-characteristic equation by wavelength

equation	$f(x) = c + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3 + a_4x^4 + a_5x^5$					
	c	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5
850nm(filter1)	-1405842.313	2508.490968	-1.785501348	0.000634639	1.12626E-07	7.98307E-12
900nm(filter2)	-2979883.534	5261.586751	-3.707123218	0.001303815	-2.28886E-07	1.60449E-11
1000nm(filter3)	-2088978.05	3688.571144	-2.597463514	0.000912852	-1.60098E-07	1.12098E-11
1050nm(filter4)	-3131525.564	5615.644248	-4.022578936	0.001439606	-2.57334E-07	1.8378E-11
1100nm(filter5)	-1787162.108	3181.763244	-2.260418243	0.000801997	-1.42086E-07	1.00553E-11

이 식을 이용하여 모든 시료를 같은 거리에 있는 것으로 가정하고 그 때의 출력을 추정하여 나타내고자, 거리센서의 출력이 2,800mV일 때 예상되는 실제 광다이오드 출력을 계산하여 당도판정모델을 개발하는데 이용하였다. 또한, 식 (2-1)과 같은 거리보정식을 작성하였는데, 여기서 실제 출력과 다르게 나타나는 값은 당도 정보를 반영했기 때문이라는 가정에 기초한 것이다.

$$\Delta f(x) = f(x)_{actual} - f(x)_{theoretic} \quad \dots\dots\dots (2-1)$$

$$f(2800)_{보정} = f(2800) + \Delta f(x)$$

여기서, $f(x)_{actual}$: 거리 x mV에서의 시료의 실제 반사도

$f(x)_{theoretic}$: 거리 x mV에서의 시료의 이론 반사도

$f(2800)$: 거리 2800 mV에서의 시료의 이론 반사도

$f(2800)_{보정}$: 거리 2800 mV에서의 시료의 추정 반사도

거리 센서에 나타나는 출력값이 x mV일 때 광다이오드에서 나타나는 이론적인 반사도와 실제반사도의 차이인 $\Delta f(x)$ 값을 거리 센서의 출력이 2,800mV일 때의 이론 반사도 $f(2800)$ 에 반영한 값이 $f(2800)_{보정}$ 이다.

그림3은 당도와 크기가 다른 사과들의 반사도를 광다이오드로 출력하되 거리보정을 하지않은 경우로, 신호자체가 크기 정보를 반영하고 있어서 그 세기가 시료별로 차이가 많음을 알 수 있다. 그러나, 거리센서의 출력이 2,800mV가 될 때의 값으로 보정하여 출력한 그림 4에서는 그 값들의 진폭이 사과의 크기 정보를 배제했기 때문에 상당히 줄어들었다.

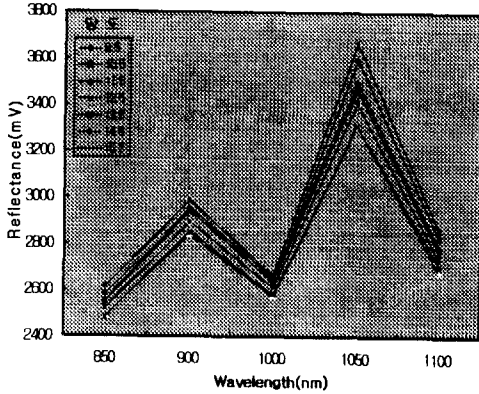


Fig 3. Reflectance by filter and sugar content.

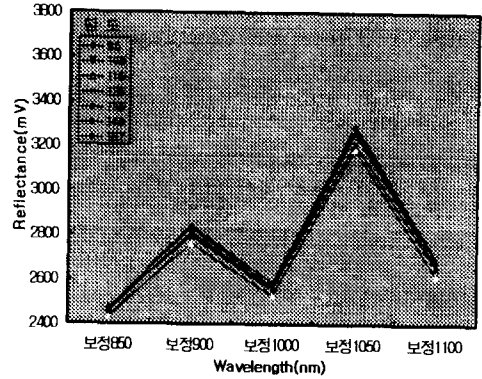


Fig 4. Reflectance by sugar content with distance calibrated to be 2,800mV.

3.2. 당도판정모델의 개발

사과의 당도와 크기신호를 배제한 각 필터의 출력을 이용하여 다중회귀 당도판정모델을 개발한 결과는 식 (3-1)과 같다.

$$\begin{aligned} \text{Sugar content(Brix)} = & 0.064153R_{1100\text{nm}} - 0.03001R_{1050\text{nm}} - 0.0983R_{1000\text{nm}} \\ & + 0.024987R_{900\text{nm}} + 0.102048R_{850\text{nm}} - 130.396 \end{aligned} \quad \dots\dots (3-1)$$

여기서,

$R_{\lambda \text{ nm}}$: λ nm 파장에서 반사도.

이 모델을 이용하여 당도가 13bx 이상인 것을 1등급, 13bx 이하인 것을 2등급으로 하여 선별정확도를 판단한 결과, 그림 5에서 보는 바와 같이 68%의 정확도를 얻었다.

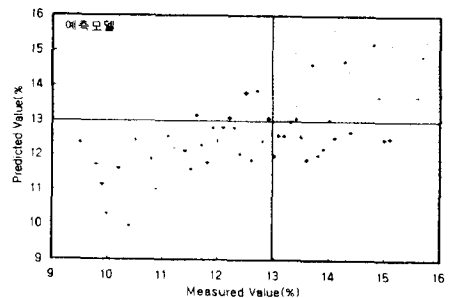


Fig 5. Prediction accuracy for the model (68%).

4. 요약 및 결론

본 연구는 사과와 당도를 비파괴적이면서 실시간으로 판정하여 선별할 수 있는 사과선별기를 개발하기 위하여 수행되었다. 근적외선 파장대역의 필터와 광다이오드 센서를 이용하여 시작기를 제작하였고, 과일 크기의 영향을 배제한 당도와 관련된 신호를 출력하기 위하여 거리센서를 부착하여 광다이오드 센서의 신호를 보정한 후 그 신호의 이용가능성과 시작기의 선별성능을 조사하였다. 모든 실험은 실제 선별라인에서 이송속도 22cm/s로 실시간으로 실시하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

(1) 150W의 할로겐 램프로 구성된 광원부에서 나오는 빛을 광화이버를 통하여 링타입의 조명으로 사과에 조사시키고, 반사된 빛은 링타입의 중앙부에서 광화이버를 거쳐 필터로 전달되는 방식의 광검출방식을 채택하여 시작기를 제작하였다.

(2) 시작기에서는 850nm, 900nm, 1,000nm, 1,050nm, 1,100nm의 고정된 근적외선 필터를 이용하여 할로겐 램프에서 나오는 빛을 분광시킨 후, 필터 뒷면에 상온에서도 감도가 좋고 가격이 저렴한 광다이오드 센서를 밀착시켜서 사과의 반사도를 측정하였다.

(3) 사과의 크기에 영향을 받는 광다이오드의 출력을 같은 거리(2,800mV)에서 측정된 것처럼 보정해 주기 위하여 광다이오드 출력 특성방정식을 만들어 이를 당도예측모델 개발에 이용하였다.

(4) 개발된 당도예측모델은 다음 식과 같다.

$$\begin{aligned} \text{Sugar content(Brix)} = & 0.064153R_{1100\text{nm}} - 0.03001R_{1050\text{nm}} - 0.0983R_{1000\text{nm}} \\ & + 0.024987R_{900\text{nm}} + 0.102048R_{850\text{nm}} - 130.396 \end{aligned}$$

당도예측모델을 이용하여 사과의 등급을 당도 13bx 이상과 13bx미만의 2등급으로 구분했을 때의 선별정확도는 68%였다.

5. 참고문헌

1. 김우기. 1997. 분광반사특성을 이용한 주요 과실의 비파괴 당·산도 측정. 서울대학교 대학원 석사학위논문.
2. 이강진외 4인, 1994. 근적외선 농산물 비파괴 품질판정기 개발, 농사시험연구사업보고서, 농업기계화연구소. pp449-456.
3. 이강진외 4인. 1997. 근적외선을 이용한 사과의 당도예측모델 개발과 비교. 한국농업기계학회지 22(1):206-212.
4. 최창현외 2인. 1997. 가시광선/근적외선 분광분석법을 이용한 사과의 당도 및 경도측정. 한국농업기계학회지 22(1):200-205.
5. Williams, P. and K. Norris. 1990. Near-Infrared Technology in the Agricultural and Food Industries. American Association of Cereal Chemist, Inc.