

표면 반사율에 의한 사과색상 선별⁺

Color Sorting of Apples by Surface Reflectance

배영환*

Y. H. Bae

Summary

The surface color of several varieties of apples were expressed quantitatively in xyz chromaticity coordinates. The spectral reflectance of 'Fuji' apples were measured in 400-820 nm range by using a spectrophotometer. Based on the spectrophotometer data and the result of visual sensory test, linear regression models were developed to select wavelengths effective for sorting apples. The models utilized reflectance at single wavelength, and the difference and ratio of the reflectance at two distinct wavelengths. The model which best fitted the visual sensory test data was one utilizing the ratio of the reflectance at 618 nm and 514nm. The correlation coefficient for this model was 0.967. Several other models were also described.

1. 서론

과실의 선별은 과실 생산의 최종 단계의 작업으로서 상품의 품질과 가격을 결정하는 중요한 요인이다. 과수 농가의 소득을 증대시키기 위해서는 생산 과정에서 생산비 절감을 위한 여러 가지 노력도 중요하지만, 수확 후의 선별 과정에서 우수한 개체를 균일하게 선별하여 규격 출하함으로써 소비자의 만족도와 상품의 부가가치를 크게 높일 필요가 있을 것이다.

통계자료를 통하여 우리 나라 농업에서 사과가 차지하는 비중을 살펴보면 다음과 같다. 1991년도의 사과 식부 면적은 5만 ha 정도로 전체 과실류 식부 면적의 약 36%를 차지하고 있으며,

1986년 이후로 매년 그 면적이 약 3천 ha씩 증가하고 있다 (농림수산부, 1991). 수도권에서의 사과 유통 규모를 살펴보면 1990년도 서울시 농수산물 도매시장에서 거래된 규모를 기준으로 연중 전체 거래 물량순으로는 67,541톤으로 배추, 무, 양파, 감자, 수박에 이어 6위를 차지하였으며, 거래금액순으로는 46,772 백만원으로 전체 농산물 거래액의 9.48 %로 1위를 차지하였다 (서울특별시 농수산물 도매시장 관리공사, 1990). 또한 사과의 해외 수출도 활발하여 1991년도의 수출 실적은 7,229톤에 2천만 불어치로 밤에 이어 과실류 수출 금액으로 2위를 차지하고 있으며, 주요 수출 대상국은 거래량 순으로 대만, 싱가포르, 코스타리카 등이며, 특히 대만으로의 수

+ 본 연구는 한국과학재단의 1990년도 연구비 지원에 의하여 수행되었음 (과제 번호 903-1501-011-2).

* 순천대학교 농과대학 농업기계공학과

출이 전체의 88%를 차지하였다(관세청, 1991). 1991년도 현재 미국과 일본으로의 수출은 총 사과 수출액의 3%에 불과하지만(관세청, 1991), 후지 사과의 국내 가격이 일본 가격의 3분의 1에 불과하여 시장이 개척될 경우 일본으로의 수출도 매우 활발할 것으로 전망된다(서, 1991).

앞에서 인용한 통계 자료들에서 보는 바와 같이 사과가 국내 농업에서 차지하는 비중이 큼에 반하여 최근 급격히 감소하고 있는 농촌 인구와 농촌 임금의 급격한 상승은 생산 및 수확 후 작업의 기계화를 절실히 요구하고 있다. 또한 정부는 농어촌 구조개선 대책(1992~2001)의 일환으로 과일류의 선별, 세정, 건조, 저장의 일관 기계화를 추진하기 위하여 1992년부터 1996년 사이에 총 3,430억원을 투자하여 전국적으로 343개소의 과일 주산 단지에 청과물 종합 처리장을 설치할 계획이다(박, 1991). 그러나 국내에서는 이러한 시설 및 기계류에 대한 설계 기술 및 연구가 미흡한 실정인바 사과일의 선별 및 저장 기술에 관한 연구의 확대가 절실히 요구되고 있다.

과일의 선별 기준은 크기, 무게, 색깔, 결점 부위의 유무 등 여러 가지가 있으나, 국내에서는 무게에 의한 중량선별기가 개발되어 있을 뿐 과일의 색깔에 의한 선별기는 전적으로 수입에 의존하고 있는 실정이다. 특히 과일의 표면색은 과일의 숙도를 결정하는 중요한 인자로서 소비자가 과일을 선택하는 대표적인 판단 기준이다.

본 연구는 사과를 대상으로 대표적인 몇 품종에 대하여 표면의 색깔을 측정하여 이를 정량적인 색좌표로 표시하고, 또한 가시광 영역에서의 파장별 사과 표면의 반사율을 측정함으로써 색상에 의한 사과 선별 기준을 제시하기 위하여 수행되었다.

2. 연구사

과일의 품질을 결정하는 요소는 크게 외부적 인 요소와 내부적인 요소로 구분할 수 있다. 외부적 요소는 표면의 색깔, 손상 부위의 유무, 형상 및 크기 등을 들 수 있으며, 내부적 요소는

酸度, 糖度, 향기, 내부 손상 부위의 유무 등을 들 수 있다.

종래의 과일 선별기는 주로 개별 과일의 크기 또는 무게를 측정하여 여러 단계로 등급 선별하는 중량 선별기가 주종을 이루었으나, 최근에는 과일 표면의 색깔에 의하여 선별하는 색상 선별기가 실용화 되었으며, 또한 과일 내부의 당도 및 내부 손상의 유무에 의한 선별기 등도 개발되었다.

과일의 익은 정도를 나타내는 가장 대표적인 인자는 표면의 색깔로서 이는 소비자가 과일을 구입할 때 중요한 선택 기준이 된다. Bittner와 Norris(1968)는 spectroreflectometer를 이용하여 사과, 복숭아, 및 배에 대하여 한 재배 기간 동안 250~2100nm 영역에서의 과일의 숙도에 따른 파장별 표면 반사율의 변화를 측정하였다. 측정 대상 과일은 모두 자외선 영역에서의 반사율은 상대적으로 낮았고, 800nm 영역에서 최대 반사율을 나타내었으며, 장파장 영역에서는 반사율이 감소하는 경향을 보였다. 또한 과일이 자라서 익어감에 따라 자외선과 근적외선 영역에 대한 반사율의 변화는 거의 없었으며, 모든 시료에 있어서 반사율의 주된 변화는 가시광 영역에서 나타나는 것으로 보고하였다. 그 이유는 근적외선 영역에서의 주된 흡광 인자는 수분으로서 과일의 숙도에 따라 표피의 수분 함량이 거의 변하지 않기 때문에 근적외선 영역에서의 반사율이 크게 변하지 않으며, 또한 자외선 영역에서는 여러 가지 색소들이 광을 흡수하기 때문인 것으로 설명하였다. 적색 계통의 사과의 경우 속도가 높아질수록 500nm 영역의 반사율은 크게 감소하는 반면 670nm 영역의 반사율은 다소 증가하였다. 또한 성숙도의 판정기준으로 적색 계통의 사과와 복숭아는 580nm와 620nm에서의 반사율의 비율, 배에 대해서는 670nm와 730nm에서의 반사율의 비율을 제시하였다. Houston(1962)은 500nm와 675nm에 대한 사과 표면의 반사율의 비율을 이용하여 red delicious 품종의 사과를 색깔에 따라 등급 선별하였다.

몇 가지 품종의 사과 맛은 果肉의 클로로필 함량과 관련이 있는데, 클로로필 함량이 낮을수

록 맛이 우수하다. Yeatman과 Norris (1965)는 빛의 투과율에 의하여 사과 내부의 클로로필 함량을 측정하고 이를 바탕으로 사과를 등급 선별하였다. 판정 기준은 $692 \pm 3\text{nm}$ 와 $742 \pm 2\text{nm}$ 에서의 光密度的 차로서, 일반적으로 클로로필은 670nm에서 최대의 흡수율을 보이는데 670nm의 파장을 선별 기준으로 사용할 경우 투과되는 빛의 에너지가 너무 작으며, 670nm 이하에서는 다른 색소의 영향을 너무 크게 받기 때문에 $692 \pm 3\text{nm}$ 를 선정하였으며, $742 \pm 2\text{nm}$ 는 하나의 기준으로서 이는 클로로필의 흡광과 무관하기 때문이라고 설명하였다.

Rozenthal과 Webster (1973)는 사과의 내부 품질에 따른 등급 선별을 위하여 광학식 선별 장치를 개발하였는데, 회전축에 3종류의 서로 다른 통과 대역을 갖는 광학 필터를 장착하여 각각 클로로필의 양(692, 740nm), 사과 내부의 水核(water core)의 유무(810, 760nm)와 측정 위치에서 사과의 존재 유무(550 ~ 690nm)를 측정하였다. 이 때 광학 필터가 회전함에 따라 각 각도에서 필터의 유효 두께가 변하고, 이에 따라 통과 대역이 이동하는 원리를 이용하여 각 필터에서 다수의 통과대역에 대하여 측정할 수 있도록 하였다.

사과 내부에 손상 부위가 있는 경우에는 일반적으로 사과 표면이 매끄럽지 못하고 손상 부위가 편편하게 보인다. Rehkugler 등 (1971)은 사과의 중심축에 대하여 광원과 감지부를 20°가 되도록 벌려 놓고 사과를 천천히 회전시킬 때 감지부에서 수광된 광량의 급격한 변화는 사과 표면의 굴곡의 불연속을 나타냄을 이용하여 상해과를 선별할 수 있음을 보였다.

Brown 등 (1974)은 700~2200nm 범위의 모든 파장에서 사과 표면 중 손상 부위의 반사율이 손상되지 않은 부위에서 보다 낮다고 보고하였으며, 그 이유는 손상 부위의 세포 파괴로 인하여 빛을 산란할 세포벽의 수가 감소함과 조직 내에서의 수분과 공기의 관계 변화 및 세포 물질 내에서의 점진적인 화학 변화가 복합적으로 작용하기 때문이라고 설명하였다. 또한 이들은 손상 부위의 유무를 판정하기 위하여 800, 1200 및

1700nm 부근의 파장에 대한 반사율의 차 또는 1400에서 2000nm 사이의 어떤 파장에 대한 반사율의 비를 이용할 수 있을 것이라고 제시하였다.

Taylor와 Rehkugler (1985)는 64개의 화소를 가진 line scan camera에 적외선 필터를 부착하여 사과의 영상을 얻은 후 화상 처리 알고리즘을 적용하여 사과의 손상 부위를 측정하는 방법에 대하여 보고하였다. Upchurch 등 (1990)은 분광 광도계와 실리콘 광 센서를 이용하여 400~1000nm 파장 범위에 대한 사과 표면의 반사율을 측정하여 손상 부위를 판정하는 기준을 설정하였는데, 773nm와 836nm에 대한 반사율의 비, 776nm와 833nm에 대한 반사율의 차를 907nm에 대한 반사율로 나눈 값을 지표로 사용 하였을 때 판정의 오차가 2.5% 이내라고 보고하였다.

사과 이외의 기타 과실에 대한 연구 결과를 요약하면 다음과 같다. Birth 등 (1957)은 620nm와 670nm의 투과율의 비를 이용하여 토마토 내부의 색상을 측정하였다. 토마토 내부의 손상을 측정하기 위하여 Moini 등 (1980)은 670nm와 960nm의 반사율을 이용하였으며, Ruiz와 Chen (1982)은 590nm와 710nm의 반사율의 일차 미분을 이용하였다. 색상을 이용한 토마토의 선별을 위하여 Stephenson(1974)은 CdS photocell을 이용하였으며, von Beckman과 Bulley(1978)는 광섬유를 사용하였다. McClure 등(1975)은 740nm와 800nm의 투과율의 차를 이용하여 blueberry의 성숙도를 판정하였으며, Felsenstein과 Manor(1973)는 667nm의 반사율을 이용하여 감귤류의 손상을 판정하였다.

遲延光의 이용은 과실의 표면에 빛을 조사한 후 이를 차단하면 과일 껍질의 클로로필 함량에 따라 형광의 강도가 결정됨을 이용하여 과일을 선별하는 방법으로서, 이를 이용하여 中馬와 中司(1977)는 토마토를, Chuma 등(1979)은 바나나를, Forbus와 Dull(1990)은 복숭아의 성숙도를 판별하였다.

음파 해석을 이용한 과일 내부 품질의 평가는 과일의 한쪽 면에 발진기(스피커 등)를 부착하여 가청 주파수 또는 초음파를 발진한 후 대향

측에서의 진동을 검출하여 과형의 전과 속도 및 감쇠율 등을 분석함으로써 果肉의 탄성계수 (Finney 등, 1968) 및 고유진동수 (Yamamoto 등, 1981)를 측정하거나 사과 내부 손상 여부 (Upchurch, 1985) 및 감자 내부의 공동의 형성 여부 (Watts와 Russell, 1985) 등을 측정하는 방법이다. 또한 소형의 기계식 해머로 수박의 표면을 타격한 후 그 진동을 측정하여 수박 내부의 공동을 검출하는 시스템도 실용화되어 있다(瀬尾, 1992).

국내에서는 조 등(1989)이 중량 선별기의 성능 평가 시험을 하였으며, 노 등(1990)은 흑백 컴퓨터 화상처리에 의하여 사과의 지름, 둘레 및 부피를 측정하였고, 김(1990)은 컴퓨터 화상처리 장치를 이용하여 사과의 크기를 판정하였고, 擬似 칼라를 이용하여 사과를 색깔에 따라 4 등급으로 분류하였다. 이 밖에 광학을 이용하거나 진동을 이용한 과일의 선별에 관해서는 국내에서의 연구가 극히 적은 실정이다.

3. 재료 및 방법

1990년산 사과를 시중에서 구입한 후 色差計를 이용하여 표면의 색깔을 측정하였다. 시료로는 후지(Fuji), 홍옥(Jonathan), 골덴(Golden Delicious)의 세 품종을 사용하였으며, 정확한 생산지는 모르지만 구입 과정에서 다양한 熟度의 개체가 포함되도록 노력하여 품종별로 15 kg 포장 1상자씩을 구입하였다. 이 중에서 실제 측정에 사용된 것은 각 품종당 10개씩으로서 완전히 품종 고유의 색을 띄고 있는 것부터 아주 덜 익은 것까지 고루 포함되도록 하였다.

사과의 표면색은 품종에 따라 完熟果의 고유 색이 다르고 또 각각의 개체 내에서도 다양한 색깔 분포를 갖는다. 따라서 각 개체 당 육안으로 판단하여 가장 색소 발현이 잘된 부분과 중간색 부분 및 색소 발현이 되지 않은 부분의 3부분을 취하여 각각에 대한 색깔을 측정함으로써 각 품종 당 30개의 측정 값을 구하였다.

측정에 사용한 장비는 日本電色工業株式會社

의 색차계 ND-101D이었으며, 周邊光의 영향을 없애기 위하여 암실에서 측정하였다. 장비 자체의 영점 드리프트의 영향을 없애기 위하여 매 3회 측정 후 표준 블럭 (L=91.4, a=0.5, b=3.4)을 사용하여 장비의 측정값을 교정하였다. 측정값은 CIE(Commission Internationale de l'Éclairage, 국제 조명위원회) 시스템의 X, Y, Z 값 및 Hunter L, a, b 값 이었다.

1991년산 후지 사과를 대상으로 400~820nm의 범위에서 파장별 표면 반사율을 측정하였다. 사용한 장비는 일본 Shimadzu 사의 모델 UV-3100S 분광 광도계로서 분해능은 0.1nm이고, 적외선 및 가시광 영역에서의 정확도는 0.3nm이며, 반사율의 측정을 위하여 모델 ISR-260 적분구(integrating sphere)를 사용하였다. 光源으로는 50W 텅스텐 할로겐 램프를 사용하였으며, 광량의 측정은 광전자 증배관(photomultiplier tube)을 사용하였다. 주사 속도는 200nm/min이었으며, 측정 데이터는 XY플로터를 이용하여 그림으로 출력하였다. 본 분광 광도계의 측정범위는 190~3200nm 이지만 적분구의 반사 영역에 의하여 시험에 사용된 파장 범위는 820nm 이하로 제한되었다.

측정에 사용된 사과는 1990년도와 마찬가지로 시중에서 구입하였으며, 다양한 색상이 발현된 개체를 포함시키려고 노력하였다. 시료 중에는 주로 수출용인 유대과(사과 색깔이 좋도록 봉지를 씌워 재배한 것)를 포함 시켰다.

측정 장비의 구조상 사과 개체 전체를 사용할 수 없었기 때문에 사과 표면을 가로 세로 약 30×50mm, 중심 부분의 두께 약 5mm가 되도록 잘라내어 곧 바로 적분구의 시료구(sample port, 15×25mm)에 밀착시켜 측정하였다. 이 때 stray light의 영향을 배제하기 위하여 시료의 후면에 흑색 천을 대었다. 대표적인 색깔을 지닌 7개의 후지 사과를 유의 선정하여 이로부터 총 18부분을 잘라내어 각각에 대한 파장별 표면 반사율을 측정하였다.

또한 6명으로 구성된 패널로 하여금 각 시료를 육안으로 판단하여 착색 발현 정도를 기준으로 上 中 下의 3단계로 평가 하도록 하였다. 이 때

상의 범주에 속하는 것은 후지 사과로서 착색 발현이 잘된 것이며, 中은 중간 정도, 下는 녹색 부분이 많은 것을 기준으로 하였다.

4. 결과 및 고찰

가. 사과의 CIE 색좌표

색차계를 이용하여 측정된 1990년산 사과 시료의 CIE 3 자극치(tristimulus value) X, Y, Z로부터 xyz 색좌표(chromaticity coordinate)를 계산하였다. 그림 1, 2와 3은 각각 후지, 홍옥 및 골덴 품종의 사과에 대한 색좌표를 chromaticity diagram에 표시한 것이다. CIE 좌표계는 視覺에 의한 분류가 아닌 수학적인 분류로서 평면상의 서로 다른 위치에 표시되었더라도 인접된 것들은 사람의 시각적인 감각으로는 구별할 수 없는 경우도 있다(李 等, 1982). 좌표 상의 x축은 일반적으로 적색(red) 성분의 상대적인 크기를 나타내며 y축은 녹색(green)을 나타낸다. 또한 CIE chromaticity diagram의 중심점 ($x=0.3333$, $y=0.3333$)에서 좌표계 상의 데이터를 직선으로 연결하여 spectrum locus (diagram 상의 외곽선)와 만나는 점은 각 시료의 색에 대한 주 파장

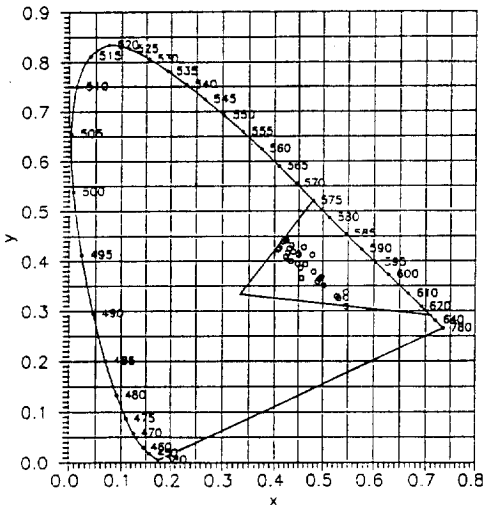


Figure 1. Chromaticity coordinates of the surface color of 1990 'Fuji' apples

(dominant wavelength)을 나타낸다. 그림 1, 2, 3으로부터 구한 시험에 사용된 사과 표면의 주 파장의 범위는 표 1과 같다.

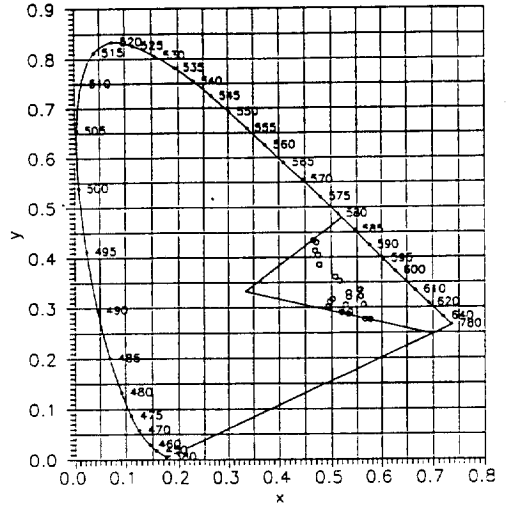


Figure 2. Chromaticity coordinates of the surface color of 1990 'Jonathan' apples

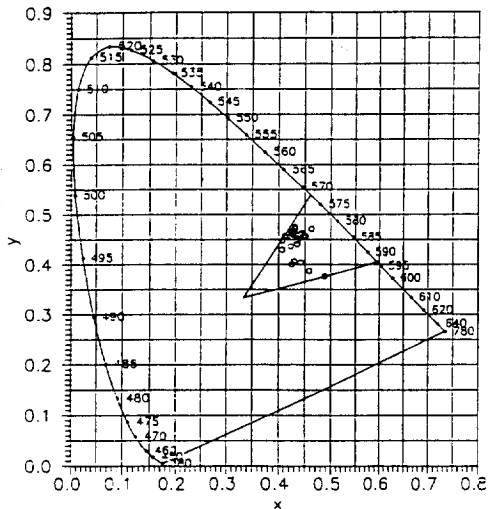


Figure 3. Chromaticity coordinates of the surface color of 1990 'Golden Delicious' apples

Table 1. Range of dominant wavelength of the surface color of the apples obtained from the chromaticity diagrams

Variety	Range of dominant wavelength (nm)
Fuji	572 - 630
Jonathan	greater than 581
Golden Delicious	572 - 593

나. 관능 검사 결과

1991년산 후지 사과에 대한 색상 판정의 기준을 마련하기 위하여 실시한 6인의 패널에 의한 시각적 관능 검사 결과를 요약하면 표 2와 같다. 여기서 관능 검사에 사용된 각 시료는 사과 개체 전체가 아니라, 분광 광도를 측정하기 위하여 잘

라낸 부분으로서 각 시료 내에서의 색깔은 매우 균일하다.

각 시료에 대한 시각적 관능 검사치의 평균간의 차이를 판정하기 위하여 Fisher의 LSD 방법을 사용하였다. 5% 유의 수준에서 LSD 값은 0.26이었으며, 이 값을 적용하여 18개의 시료를 세 등급으로 구분하였다 (표 2참조).

Table 2. Result of the visual sensory test conducted to classify the 1991 'Fuji' apples by their surface color

Sample No.	Score		Rank	Panel
	Mean	Std. dev.		
1	3.0	0.0	1	a
2	3.0	0.0	1	a
3	3.0	0.0	1	a
4	3.0	0.0	1	a
5	3.0	0.0	1	a
6	3.0	0.0	1	a
7	2.91	0.30	7	a
8	2.82	0.41	8	ab
9	2.64	0.51	9	b
10	2.64	0.51	9	b
11	2.0	0.0	11	c
12	1.82	0.41	12	cd
13	1.73	0.47	13	de
14	1.55	0.52	14	e
15	1.27	0.47	15	f
16	1.18	0.41	16	fg
17	1.0	0.0	17	g
18	1.0	0.0	17	g

Note) 1) score 3 : Red dominant
2 : Mixed
1 : Green dominant

2) LSD=0.26 (at $\alpha=0.05$)

다. 분광 광도 시험 결과

관능 검사에 사용한 것과 동일한 후지 사과 시료를 분광 광도계를 이용하여 400~820nm의 파장에 대한 파장별 표면 반사율을 측정한 결과를 그림 4~6에 나타내었다. 그림 4는 관능 검사에서 가장 색깔이 우수한 집단으로 나타난 시료들에 대한 반사율 곡선이며, 그림 5는 중간 집단이고, 그림 6은 색상 발현이 가장 덜된 시료의 집단에 대한 것이다. 모든 시료에 대하여 공통적

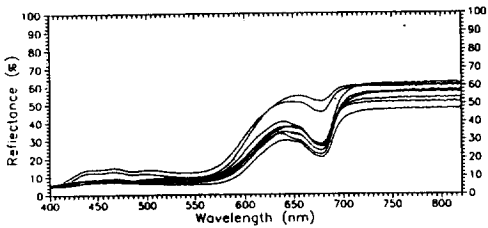


Figure 4. Spectral reflectance of 1991 'Fuji' apples classified as 'Red' by visual sensory test

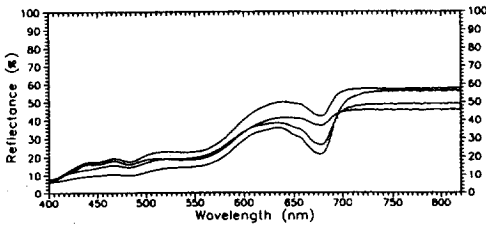


Figure 5. Spectral reflectance of 1991 'Fuji' apples classified as 'Mixed' by visual sensory test

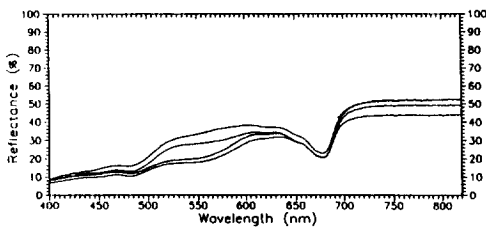


Figure 6. Spectral reflectance of 1991 'Fuji' apples classified as 'Green' by visual sensory test

으로 자외선 영역에 근접한 단파장 쪽의 표면 반사율이 가장 낮았으며 근적외선 영역에 근접한 장파장쪽의 반사율이 가장 높았다.

가시광 영역에서는 635~660nm 사이에서 반사율의 극대점을 가지며, 또한 공통적으로 클로로필에 의한 흡수 영역인 677nm 부근에서 반사율의 극소점을 보였다. 이러한 경향은 사과를 대상으로 실험한 다른 연구자(Bittner와 Norris, 1968)의 결과와 잘 일치하였다.

그림 4와 5에 표시된 것 중 677nm 부근에서 반사율이 높은 순으로 2개의 시료는 유대과로 다른 개체의 사과에 비하여 677nm 부근에서의 반사율 감소의 폭이 작은데, 이는 재배 방법의 차이에 의하여 사과 표피의 클로로필의 함량이 상대적으로 적은 것에 기인한다.

라. 분광 광도에 의한 색차표

분광 광도계를 이용한 파장별 표면 반사율 측정 결과로부터 각 시료의 CIE 색차표를 구하기 위하여 아래의 식을 사용하였다.

$$X = K \sum_{400}^{780} E_{\lambda} \bar{x}_{\lambda} R_{\lambda} \Delta\lambda \dots\dots\dots (1)$$

$$Y = K \sum_{400}^{780} E_{\lambda} \bar{y}_{\lambda} R_{\lambda} \Delta\lambda \dots\dots\dots (2)$$

$$Z = K \sum_{400}^{780} E_{\lambda} \bar{z}_{\lambda} R_{\lambda} \Delta\lambda \dots\dots\dots (3)$$

$$x = \frac{X}{X + Y + Z} \dots\dots\dots (4)$$

$$y = \frac{Y}{X + Y + Z} \dots\dots\dots (5)$$

$$z = \frac{Z}{X + Y + Z} \dots\dots\dots (6)$$

여기에서 \bar{x}_{λ} , \bar{y}_{λ} 및 \bar{z}_{λ} 는 CIE 표준 관측자에 대한 equal energy spectrum data를 이용하였으며, E_{λ} 는 CIE 표준광원 C(correlated color temperature가 약 6774K인 흐린 날 정도의 햇빛)에 대한 값(Mohsenin, 1984)을 사용하였다. R_{λ} 는 파장 λ 에 대하여 측정된 사과 시료의 표면 반사율이며, $\Delta\lambda$ 는 5nm 등간격을 사용하였다. 본래는 CIE 3 자극치를 구하기 위하여 가시광의 전 범위인 380nm부터 780nm까지의 파장에 대한 데이터를 이용해야 하지만, 본 실험에서는 400nm 이상의 파

장에 대해서만 측정하였기 때문에 400nm 이하의 값은 무시하였다. 이는 380~400nm 사이의 사과 반사율이 상대적으로 낮으며, 또한 그림 7에서 보는 바와 같이 이 범위에서의 \bar{x} , \bar{y} , \bar{z} 값이 상대적으로 매우 작기 때문에 전체적인 분석 결과에 미치는 영향을 무시할 수 있을 것으로 판단하였기 때문이다.

각 시료에 대하여 계산을 통하여 구한 CIE 색

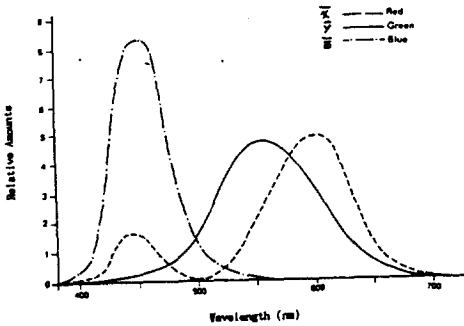


Figure 7. Distribution coefficients \bar{x} , \bar{y} , \bar{z} obtained from equal-energy spectral values for the three primary colors (Source : Mohsenin, 1984)

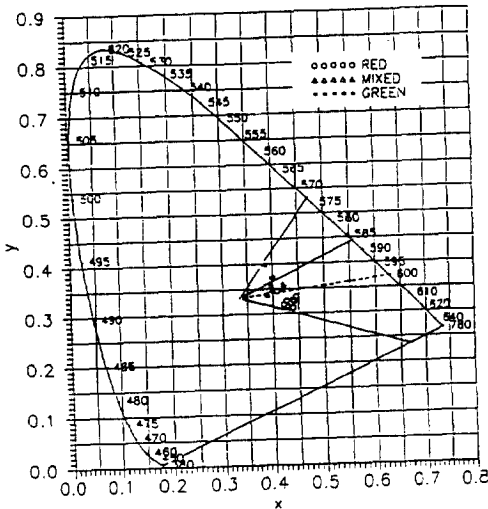


Figure 8. Chromaticity coordinates of the 1991 'Fuji' apples calculated from the spectral reflectance data

좌표를 그림 8에 표시하였다. 그림에서 보는 바와 같이 육안으로 판별하여 덜 익은 부분으로 판정된 시료의 주파장은 587nm 이하이었다. 육안으로 판별한 잘 익은 부분과 중간 부분은 주파장 600nm 부근에서 구별되는 것으로 나타났다.

마. 색상 선별을 위한 모델의 결정

각 시료에 대한 파장별 반사율을 근거로 하여 사과의 색상 선별을 위한 기준으로서 다음과 같은 세 종류의 선형 모델에 대하여 검토하였다.

$$\text{Model 1: } S = C_0 + C_1(R_{\lambda 1})$$

$$\text{Model 2: } S = C_0 + C_1(R_{\lambda 1} - R_{\lambda 2})$$

$$\text{Model 3: } S = C_0 + C_1(R_{\lambda 1}/R_{\lambda 2})$$

여기서, C_0 , C_1 : 1차 회귀식의 계수

$R_{\lambda 1}$, $R_{\lambda 2}$: 판정의 기준이 되는 파장 λ_1 및 λ_2 에 대한 반사율

S : 각 사과 시료에 대한 판정 성적의 평균치

위에 나타난 식들은 사과 개체의 연속적인 스펙트럼에 대한 반사율을 이용하는 것이 아니고, 임의의 한 파장에 대한 반사율 또는 서로 다른

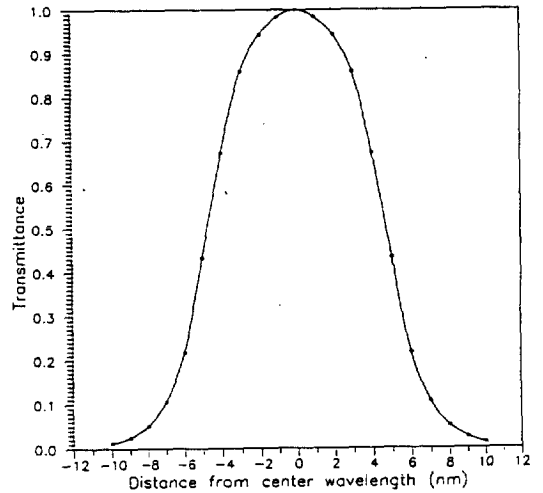


Figure 9. A conceptual filter obtained using the average of the seven filters assuming transmittance at each peak wavelength as 100 percent.

두 파장에 대한 반사율의 차 또는 그 비율을 판정의 기준으로 삼는 것이다. 이는 시료와 수광부 사이에 특정한 통과 대역을 갖는 광학 필터를 장착하는 경우를 가정한 것으로서, 측정값은 필터 자체의 통과 대역과 그 감쇠율의 영향을 받을 것이다. 본 연구에서는 미국 Melles Griot 사에서 제조한 VISIBLE 10 필터 세트의 검사 데이터를 기준으로 하여 필터의 통과 대역과 감쇠율을 결정하였다. 그림 9는 필터의 중심 파장에서의 투과율을 1로 간주하였을 때 중심 파장으로부터 ± 10nm 범위에서의 투과율의 평균치를 이용하여 나타낸 하나의 가상적인 필터이다. 모델의 분석을 위하여 400nm에서 780nm의 범위에서 1nm 간격으로 이와 같은 가상적인 필터를 도입하였을 때의 반사율을 계산한 후 이 값을 모델의 선정에 이용하였다.

1) 단일 파장 모델

가장 단순한 모델로서 광학 필터의 중심 파장을 400nm에서 780nm까지 1nm 간격으로 설정하는 경우에 대하여 381 개의 일차 회귀식을 구하였으며, 필터의 중심 파장에 따른 각 회귀식의 결정 계수 r^2 값을 그림 10에 나타내었다. 결정 계수의 최고치는 광학 필터의 중심 파장이 570

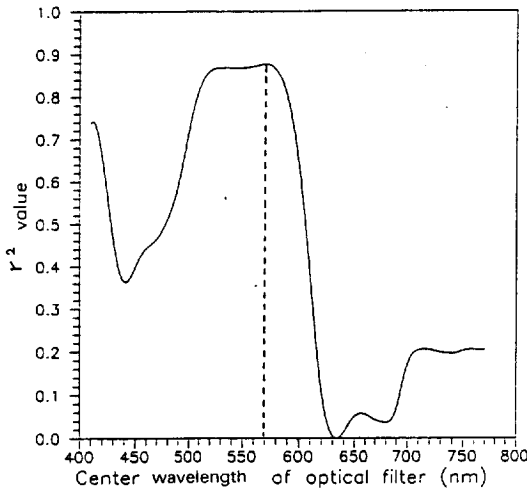


Figure 10. The coefficient of determination (r^2) of the single-filter linear model showing the maximum at 570 nm

nm일 때로서 0.876이었으며 이 때의 회귀식은 다음과 같았다.

$$S = 3.678 - 0.0864 R_{570} \quad (r = -0.936) \dots (7)$$

여기서, S : 판정 성적의 평균치

R_{570} : 중심 파장 570nm에 대한 반사율

그림 11은 식 (7)에 나타난 570nm에 대한 각 시료의 반사율과 관능 검사 성적의 관계를 도시한 것이다. 수식과 그림이 의미하는 것은 570nm에서의 반사율이 증가할수록 즉, 후지 사과가 약간의 녹색을 띤 노랑에 가깝게 보일수록 색상 발현이 덜 되었음을 의미한다.

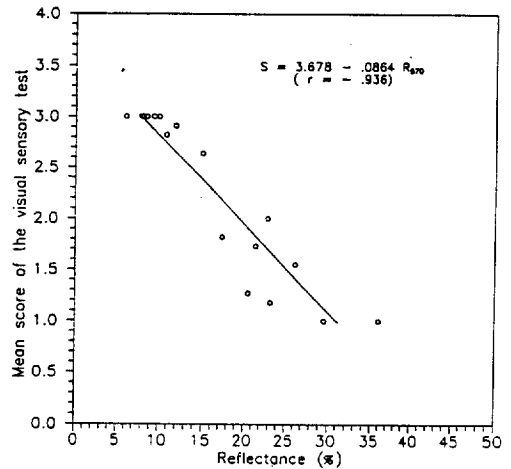


Figure 11. Linear relationship between the reflectance at 570nm and the mean score of visual sensory test.

2) 두 파장 간 반사율의 차에 의한 모델

두 파장 간의 반사율의 차를 이용한 최적의 모델을 결정하기 위하여 다음과 같이 400nm에서 780nm까지 2nm 간격의 λ_1 과 λ_2 에 대하여 최소자승법에 의한 일차 회귀식을 구하였다.

$$S = C_0 + C_1(R_{\lambda_1} - R_{\lambda_2})$$

여기서, C_0, C_1 : 선형 회귀식의 계수

R_{λ_1} : 파장 λ_1 에 대한 반사율

$\lambda_1 = 400, 402, \dots, 780$

R_{λ_2} : 파장 λ_2 에 대한 반사율

$\lambda_2 = 400, 402, \dots, \lambda_1 (\lambda_2 \neq \lambda_1)$

그림 12는 λ_1 과 λ_2 의 각 조합에 대한 직선 회귀식의 결정 계수가 0.80 이상인 부분의 분포를 그림으로 나타낸 것이다. 이 그림에서 보는 바와 같이 결정 계수가 0.90 이상인 파장의 조합은 크게 네 개의 극대점을 가지는 것을 알 수 있다. 각 극대점 부위에서의 결정 계수가 가장 높은 조합으로부터 구한 회귀식을 정리하면 표 3과 같다.

그림 13은 표 3의 회귀식에 나타난 서로 다른 두 파장에 대한 표면 반사율의 차와 시각적 관능

검사 결과와의 관계를 도시한 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 ($R_{496} - R_{494}$) 또는 ($R_{496} - R_{488}$)을 판정 기준으로 하는 경우 회귀식의 결정 계수는 다른 모델 보다 높으나, 두 중심 파장 사이의 간격 및 각각에서의 반사율의 차가 너무 작기 때문에 (4% 이하) 측정 장치의 정확도에 크게 영향을 받을 것이다. 나머지 세 개의 모델은 거의 유사한 선별 능력을 가진 것으로 판단된다.

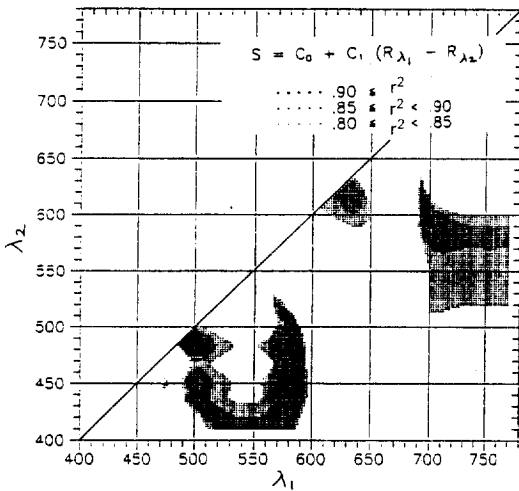


Figure 12. Distribution of r^2 values for the linear model based on the difference in the reflectance at two wavelengths

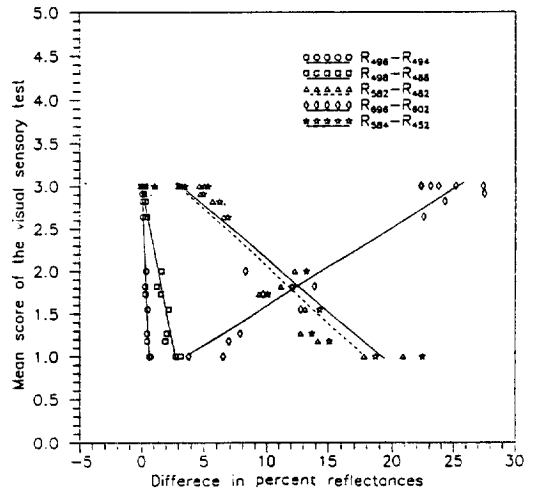


Figure 13. Linear relationship between the difference in percent reflectance at two wavelengths and the mean score of the visual sensory test.

Table 3. Selections of the best fitting linear regression equations at each local maximum of the r^2 distribution for the difference model

Equation	r^2
$S = 2.994 - 3.212(R_{496} - R_{494})$	0.947
$S = 2.996 - 0.720(R_{496} - R_{488})$	0.945
$S = 3.400 - 0.134(R_{582} - R_{482})$	0.914
$S = 0.676 + 0.092(R_{696} - R_{602})$	0.912
$S = 3.398 - 0.125(R_{584} - R_{452})$	0.908

3) 두 파장 간 반사율의 비율에 의한 모델

서로 다른 두 파장에 대한 반사율의 비율에 의한 모델식은 앞에서의 반사율의 차에 대한 모델식과 같은 방법으로 최소사승법에 의한 일차 회귀식을 구하였다. 그림 14는 사용된 광학 필터의 중심 파장의 각 조합에 대한 회귀식의 결정 계수의 분포를 나타낸 것이다. 결정 계수의 값이 0.90 이상인 부분이 네 곳으로서 각각에서의 파크를 구하여 정리하면 표 4와 같다.

표 4의 회귀 방정식에 표시된 표면 반사율의 비와 시각적 관능 검사 결과와의 관계를 도시하

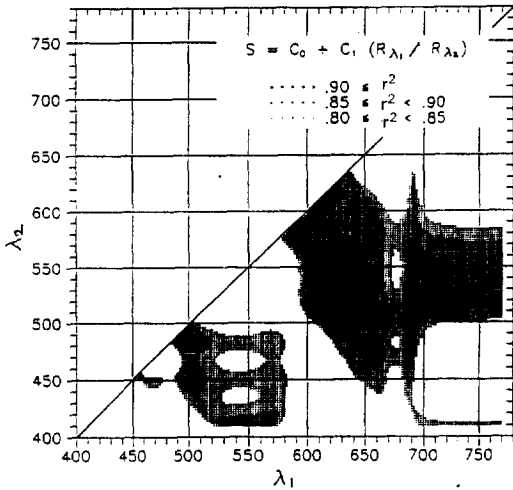


Figure 14. Distribution of r^2 values for the linear model based on the ratio of the reflectance at two wavelengths.

면 그림 15와 같다. 다섯 모델 중 (R_{584}/R_{590}), (R_{492}/R_{490}) 및 (R_{500}/R_{452})를 이용한 식은 결정 계수는 상대적으로 높은 반면 중심 파장 사이의 거리가 가깝고 또한 반사율의 비가 작기 때문에 장치로서 실현하였을 때 정확한 선별이 어려울 것이다. 이 중 가장 우수한 모델은 618nm와 514nm에서의 표면 반사율의 비율을 선별 인자로 사용하는 것으로서 이를 이용하여 색상이 아주 좋은 사과와 그렇지 않은 사과를 효과적으로 분류할 수 있을 것으로 판단된다.

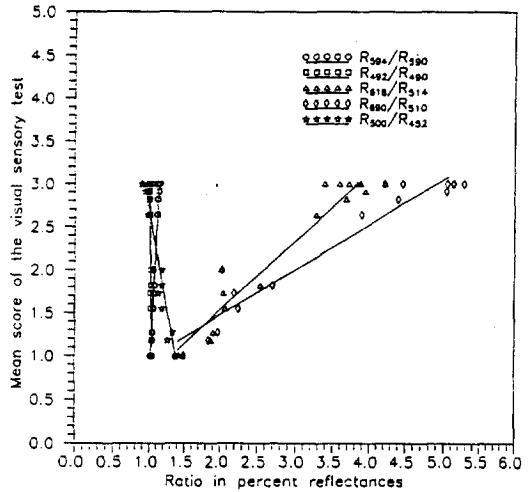


Figure 15. Linear relationship between the ratio of percent reflectance at two wavelengths and the mean score of the visual sensory test.

Table 4. Selections of the best fitting linear regression equations at each local maximum of the r^2 distribution for the ratio model

Equation	r^2
$S = -15.418 + 16.143(R_{584}/R_{590})$	0.947
$S = 63.528 - 60.418(R_{492}/R_{490})$	0.947
$S = -0.056 + 0.796(R_{618}/R_{514})$	0.935
$S = 0.426 + 0.525(R_{690}/R_{510})$	0.929
$S = 7.123 - 4.441(R_{500}/R_{452})$	0.903

5. 결론

본 연구는 사과외 색깔을 정량적으로 측정하고 이를 시각적 판능 검사 결과와 비교함으로써 사과외의 속도를 판정하기 위한 광학적 설계 기준을 마련하기 위하여 수행되었다. 1990년산 후지, 홍옥 및 골덴 품종 사과 표면의 색깔을 색차계를 이용하여 측정하였으며, 분광 광도계를 이용하여 1991년산 후지 사과외의 표면 반사율을 400~820nm 범위의 파장에 대하여 측정하였다. 또한 각 파장에서의 표면 반사율의 측정치를 분석함으로써 광학 필터를 사용한 등급 선별기의 후지 사과 선별 모델을 제시하였으며 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 1990년산 사과의 품종별 CIE 색좌표로부터 구한 표면 색의 주파장의 범위는 다음과 같았다.

후지 : 572~630nm

홍옥 : 581nm 이상

골덴 : 572~593nm

2) 1991년산 후지 사과의 파장별 표면 반사율을 측정한 결과 400nm에서 820nm의 범위에서 모든 시료에 대하여 공통적으로 자외선에 가까운 단파장 쪽에서의 반사율이 가장 낮았고, 근적외선 영역에 가까운 장파장 쪽에서의 반사율이 가장 높았다. 가시광 영역에서는 시료에 따라 반사율의 피크는 다르나 635nm와 660nm 사이에서 반사율의 극대점을 보였으며, 클로로필에 의한 흡광 영역인 677nm에서 극소점을 가졌다.

3) 파장별 반사율을 이용하여 구한 후지 사과의 선별 모델에 사용할 수 있는 최적의 파장은 다음과 같았다.

단일 파장 모델 : 570nm에서의 반사율

반사율의 차에 의한 모델 :

582nm와 482nm에 대한 반사율의 차

696nm와 602nm에 대한 반사율의 차

584nm와 452nm에 대한 반사율의 차

반사율의 비율에 의한 모델 :

618nm와 514nm에 대한 반사율의 비율

690nm와 510nm에 대한 반사율의 비율

4) 선택된 모델 중 가장 선별 효과가 우수한

것은 618nm와 514nm에 대한 반사율의 비율을 이용한 모델이었으며, 이 인자와 판정 검사 결과와의 상관 계수는 0.967로서 매우 높았다.

참고 문헌

- 1) 관세청. 1991. 무역통계 연보. p. 192.
- 2) 김성민. 1990. 화상처리 장치를 이용한 사과외의 색택 판정. 서울대학교 대학원 농공학과 농업기계전공. 석사학위 논문. 47 p.
- 3) 노상하, 류관희, 김일웅. 1990. 화상처리 시스템을 이용한 과일외의 기하학적 특성 측정. 한국농업기계학회지. 15(1) : 23-32.
- 4) 농림수산부. 1991. 작물 통계. p. 16.
- 5) 박원규. 1991. 시설농업의 기계화와 자동화 추진 시책. In : 시설농업논문집. 한국농기공업협동조합. 조사연구자료 No. 13. pp. 5-27.
- 6) 서울특별시 농수산물 도매시장 관리공사. 1990. 농수산물 가격 동향. p. 48.
- 7) 서종혁. 1991. 주요국가의 농업보호정책과 농산물 수출시장의 확대 방안. In : UR 농산물협상 이후의 한국농업의 진로. 전국농학계 대학장협의회 주최 심포지움 발표문. 서울대학교 문화관. 3월 15일. pp. 71-82.
- 8) 이충희, 임동건, 정해양, 김용완. 1982. 색의 측정 및 표시 방법. 한국 표준연구소. KSRI-MC-21. pp. 23-25.
- 9) 조남홍, 오성근, 박관규, 조광환. 1989. 과일 선별기 개발에 관한 연구. 農試論文集(農機械.農利篇). 농촌진흥청. 31(1) : 59-67.
- 10) 中馬 豊, 中司 敬. 1977. 果實・野菜 野菜の光學的性質とその選別工程への利用(第4報)-トマトの Delayed light emission 特性. 農業機械學會誌. 38(2) : 217-224.
- 11) 瀬尾 康久. 1992. 選果選別装置のメカトロ化の現状. 農業および園藝. 67(1) : 80-86.
- 12) Birth, G.S., K.H. Norris and J.N. Yeatman. 1957. Non-destructive measurement of internal color of tomatoes by spectral transmission. Food Technology. 11 : 552-557.
- 13) Bittner, D. R. and K. H. Norris. 1968. Opti-

- cal properties of selected fruits vs. maturity. TRANSACTIONS of the ASAE. 11(4) : 534-536.
- 14) Brown, G.K., L.J. Segerlind and R. Summitt. 1974. Near-infrared reflectance of bruised apples. TRANSACTIONS of the ASAE. 17 (5) : 987-992.
 - 15) Chuma, Yutaka, Kei Nakaji, and Masanobu Ohura. 1979. Delayed light emission as a means of automatic maturity evaluation of bananas. ASAE Paper No. 79-6015.
 - 16) Felsenstein, G. and G. Manor. 1973. Feasibility study into the development of an improved photoelectric device for sorting of citrus fruit for surface defects. TRANSACTIONS of the ASAE. 16(5) : 1006-1009.
 - 17) Finney, E.E., I. Ben-Gera, and D.R. Massie. 1968. An objective evaluation of changes in firmness of ripening bananas using a sonic technique. Journal of Food Science. 32(6) : 642-646.
 - 18) Forbus, W.R., Jr. and G.G. Dull. 1990. Delayed light emission as an indicator of peach maturity. J. of Food Science. 55(6) : 1581-1584
 - 19) Houston, R. K. 1962. Electronic sorting of apples, colorscan design and field experience. ASAE Paper No. PC-62-5.
 - 20) McClure, W.F., R.P. Rohrbach, L.J. Kushman, and W.E. Ballinger. 1975. Design of a high-speed fiber optic blueberry sorter. TRANSACTIONS of the ASAE. 18(3) : 487-490.
 - 21) Mohsenin, N.N., 1984. Electromagnetic radiation properties of foods and agricultural products. Gordon and Breach, Science Publishers, Inc. pp. 270-271.
 - 22) Moini, S., M. O'Brien and P. Chen. 1980. Spectral properties of mold and defects of processing tomatoes. TRANSACTIONS of the ASAE. 23(4) : 1062-1063.
 - 23) Rehkugler, G.E., T.L. Stiefvater and J.A. Throop. 1971. An optical bruise detection technique. TRANSACTIONS of the ASAE. 14 (6) : 1189-1194.
 - 24) Rozenthal R.D. and D.R. Webster. 1973. On-line system sort fruit on basis of internal quality. Food Technology. 27 : 52-60.
 - 25) Ruiz, M. and P. Chen. 1982. Use of the first derivative of spectral reflectance to detect mold on tomatoes. TRANSACTIONS of the ASAE. 25(3) : 759-762.
 - 26) Stephenson, K.Q. 1974. Color sorting system for tomatoes. TRANSACTIONS of the ASAE. 17(6) : 1185-1186, 1190.
 - 27) Taylor, R.W. and G.E. Rehkugler. 1985. Development of a system for automated detection of apple burises. In : Agri-Mation 1. Proceedings of the Agri-Mation 1 Conference & Exposition. February 25-28. Palmer House Hotel. Chicago, Illinois. pp. 53-62.
 - 28) Upchurch, B.L., E.S. Furguson, and G.E. Miles. 1985. Spectral analysis of acoustical signal for damage detection. ASAE Paper No. 85-6014.
 - 29) Upchurch, B. L., H. A. Affeldt, W. R. Hruschka, K. H. Norris, and J. A. Throop. 1990. Spectrophotometric study of bruises on whole, 'red delicious' apples. TRANSACTIONS of the ASAE. 33(2) : 585-589.
 - 30) von Beckman, J.W. and N.R. Bulley. 1978. Electronic size and color grader for tomatoes. TRANSACTIONS of the ASAE. 21(1) : 25-30.
 - 31) Watts, K.C. and L.T. Russell. 1985. A review of techniques for detecting hollow heart in potatoes. Canadian Agric. Engng. 27(2) : 85-90.
 - 32) Yamamoto, H., M. Iwamoto, and S. Hagi-numa. 1981. Nondestructive acoustic impulse response method for measuring internal quality of apples and watermelons. J. Jpa.

Soc. Hort. Sci. 50(2) : 247-261.

- 33) Yeatman, J.N. and K.H. Norris. 1965. Evaluation of internal quality of apples with new

automatic fruit sorter. Food Technology. 19
(3) : 123-125.