

# 사과의 分光反射 特性和 非破壞 品質評價因子와의 相關關係 究明<sup>+</sup>

## Correlation between Non-destructive Quality Evaluation Parameters and Spectral Reflectance of Apple

金容顯\* 金哲洙\* 金聖奉\*\* 金夢燮\*\* 辛建哲\*\*  
Y. H. Kim C. S. Kim S. B. Kim M. S. Kim K. C. Shin

### Summary

Optical properties of fruits can provide information for nondestructive quality evaluation. An attempt is made here to develop an optical method for quality evaluation of apple using the spectral reflectance of its surface. Optical fiber was used to transmit light conveniently from light source to sample and sample to detector.

Spectral reflectances of two types of Fuji variety — one of which was exposed to the sunlight directly (non-bagging) and the other was wrapped with bag (bagging) — were investigated from the wavelength ranging of 400nm to 700nm. The relationships between reflectance characteristics and quality indices such as chlorophyll content, anthocyanin content, and soluble solids were analyzed.

### 1. 緒論

국내 과수 재배면적은 1990년 현재 133,309 ha, 생산량은 1,766,248 M/T에 이르고 있다. 이 가운데 사과재배면적 및 생산량은 48,833ha, 628,947 M/T으로서 전체 과수재배면적 및 생산량의 각각 36.3%, 35.6%를 차지하고 있다. 특히, 사과와 배의 경우 해를 거듭할 수록 재배면적 및 생산량이 증대하고 있으며 품질이 우수하여農産物의 輸入開放壓力에도 불구하고 국제 경쟁력을 지닌 수출 유망 품목으로 인정되고 있다.

한편, 果實類의 소비추이를 살펴보면 1인당 소비량이 1970년 基準 13.1kg에서 1989년에는 45.3kg으로 양적으로 비약적인 증가와 함께 高品質 果實類에 대한 선호 경향이 높게 나타나고 있다. 그러므로 소비 형태의 변화에 대응할 수 있는 高品質 果實類의 재배방법과 品質을 객관적으로 신속하게 평가할 수 있는 選別 方法의 開發이 과수분야의 핵심과제로 등장하고 있다.

勞動集約的인 과수 농업중에서 많은 노동력을 필요로 하는 작업 가운데 하나가 果實의 選別作業이다. 果實의 선별 작업은 상품의 질을 향상시킬

+ 本研究은 1990년도 科學技術處의 特定課題 研究費 支援으로 遂行되었음.

\* 全北大學校 農業機械工學科

\*\* 果樹研究所 果樹栽培科

과 동시에 농가소득을 제고시키게 됨으로 선별 작업의 중요성 및 효율성이 날로 증대되고 있다.

국내 果實選別은 대부분 重量式 選果機에 의한 무게 또는 크기만이 選別되고 形狀, 着色度 또는 外觀 美麗度등과 같은 外部 品質要素는 肉眼 調査에 의존하고 있는 실정이다. 이와 같이 육안조사에 의한 선별은 과실의 외관상대등에 기준을 두고 품질을 평가하기 때문에 객관적인 품질검사가 불가능하며 개인오차가 나타나기 쉽다.

더구나 熟度, 糖度와 같은 内部 品質要素의 選別方法은 基準조차 확립되어 있지 않기 때문에 이에 따른 문제의 심각성이 심화되고 있는 형편이다.

예를 들면 未熟果의 경우 糖度の 저하, 過熟果는 저장력 저하와 같은 품질저하를 초래한다. 또한, 果實類의 輸出時 過熟된것이 선적될 경우 저장력의 低下에 따른 상품가치의 下落, 생리장해에 의한 내부이상 果實을 選別하지 못하여 변상조치가 수반되는등 국제적인 신용도의 低下는 물론 수출에 적지 않은 어려움을 초래하고 있다.

果實의 非破壞選果 및 品質評價를 위한 光學의 特性 裝置의 開發, 개발된 장치를 이용한 연구결과는 選果機 開發을 위한 기초자료로 활용될 것이다. 光學의 特性을 이용한 非破壞 檢查方法은 品質 또는 特性의 측정과 평가에 光에너지의 吸收 및 反射 波長帶域을 利用한 것으로서 紫外線부터 赤外線까지의 광범위한 波長帶의 光이 사용된다. 果實의 品質을 신속, 정확하게 평가할 수 있는 非破壞 選果方法의 개발에 관한 국내의 研究動向은 黑白畫像에 의한 果實의 크기 및 色澤判定에 대한 基礎研究가 진행되고 있는 실정이나, 광학적 특성을 이용한 品質評價方法에 관한 연구는 전무한 형편이어서 選果機 開發에 필요한 기초자료조차 확보할 수 없어 이에 대한 연구가 집중적으로 이루어져야 할 것으로 사료된다.

일반적으로 과실의 품질은 果皮와 果肉色에 의해서 결정된다. 이러한 色度는 과실의 성숙과정 동안 可視의으로 변화한다. 과실은 성숙되어 감에 따라 서로 다른 물리적 및 화학적 변화를

나타낸다. 이 가운데 葉綠素의 감소현상은 대부분의 과실에서 공통적이며 분명하게 나타나는 변화에 해당된다. 그러므로 사과에서 엽록소의 감소와 더불어 안토시아닌(anthocyanin), 카로틴(carotene) 색소의 생성에 따른 赤色 또는 黄色의 發現이 이루어진다.

광학적 特性을 이용한 非破壞 檢查方法은 果皮 또는 果肉色의 측정에 의한 熟度判定, 사과의 water core 와 internal breakdown, 복숭아의 熟度, 수박의 空胴果判定과 같은 果實의 品質評價에 널리 이용되고 있다. 사과의 광학적 특성에 대한 연구는 Norris(1958)에 의해서 시도된 이래 Sidwell等(1962), Birth와 Olsen(1964), Francis等(1965), Bramlage와 Shipway(1967), Wadata等(1976), Chen 과 Nattuvetty(1980), 天間毅等(1990)에 의해서 研究가 지속되고 있다.

Bitter와 Norris(1968)는 赤色 계열 사과의 속도를 표시하는 지표로서 620nm에서 반사도에 대한 580nm에서 반사도의 比를 제시하였다. 사과의 표면상처는 등급을 결정하는 작업에서 흔히 발생되며 품질을 저하시키는 주요 인자에 해당된다.

Rehkgugler等(1971)은 사과의 표면상처를 檢出하고자 反射 特性을 이용한 표면의 不均一度를 측정하였다. 700~2,200nm의 波長領域에서 反射 特性을 살펴본 결과 모든 波長 범위에서 정상 사과에 비해서 표면상처가 존재하고 있는 사과의 平均 反射度가 낮음을 보고하였다.

복숭아의 果皮色으로 熟度を 정할 수 있는 基準으로 Bittner와 Norris(1968)는 550~590nm 범위의 한 波長과 600~640nm 범위의 또 다른 파장의 反射度 比率, Clark와 Shackelford(1973)는 657nm와 625nm 파장에서 反射度 比率를 제시하였다.

盧等(1990)은 可視光 영역내에서 벼, 玄米, 精米등의 分光反射 特性을 구명한 결과 搗精米의 精白정도에 따른 反射度의 차이가 420~500nm에서 가장 크게 나타난 것으로 보고하였다.

Brown等(1974)은 近赤外線을 이용하여 사과의 표면상처를 감지한 결과 反射 特性에 있어서 Rehkgugher等(1971)과 동일한 결과를 얻었다.

Kawano等(1989)은 복숭아의 糖度 측정시 近赤外分光法을 사용한 결과 가능성을 제시하였다. 그들은 光纖維를 사용한 방법으로 680~1,235 nm 범위에서 反射度를 측정하였고, 積分球을 사용한 다른 방법에서는 1,100~2,500nm 범위의 波長領域에서 反射 特性을 살펴보았다.

近赤外分光法을 사용하여 糖成分이 단순한 복숭아와 달리 複數의 糖이 포함된 사과 的 糖度 측정 가능성 검토에 대한 연구가 天間 毅等(1990)에 의해서 시도되었다. 680~1,235nm 의 범위에서 近赤外吸收 波長帶域의 2次 微分値와 定量分析에 의한 吸收度 사이의 重回歸分析을 실시한 결과 912nm의 波長이 有意性이 높은 第1 波長으로 선택되었으며 第2 波長은 866nm로 나타났다.

本 研究는 果實의 품질을 평가하기 위한 방법으로 可視光線 영역의 光을 이용한 非破壞 品質 평가방법의 開發, 果實의 光學的 特性 究明, 광학적 특성과 품질평가 요소의 상관관계 구명 및 選果機 開發에 필요한 選別基準을 제시하고자 시도되었으며 그 구체적인 목적은 다음과 같다.

- 1) 可視光線 영역에서 사과의 分光反射特性을 측정 및 분석한다.
- 2) 광학적 특성과 품질평가요소 (chlorophyll 含量, anthocyanin 含量, 可溶性 固型物質)의 相關關係를 究明하여 사과의 非破壞 品質評價方法을 제시한다.

## 2. 材料 및 方法

### 가. 실험재료

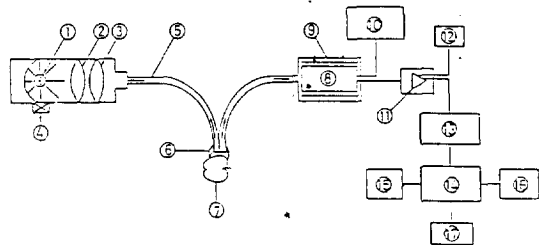
#### 1) 측정시스템

사과의 광학적 특성을 측정하기 위한 측정시스템의 개략도가 그림 1에 실려 있다. 측정시스템은 크게 光源發生裝置, 光傳達裝置, 感知部, 資料入力裝置로 구성된다. 표 1은 측정시스템에 사용된 각종 기기의 규격을 나타낸 것이다.

#### 가) 광원발생장치

광원발생장치는 光源, 短波長通過필터 (short

-wavelength pass filter), 帶域通過필터(band pass filter) 및 송풍기로 이루어진다. 광원은 소비전압 120 Volts, 출력 300Watts의 할로젠 전구 (halogen lamp)를 사용하였다. 短波長通過필터는 700nm 이상의 파장을 차단시키며, 帶域通過필터는 400~700nm 영역의 가시광선을 50nm 간격으로 나누어준다. 한편, 650nm 이상의 赤色光에서는 高熱이 발생되므로 냉각을 위한 송풍기를 부착시켰다.



- |                               |                            |                              |
|-------------------------------|----------------------------|------------------------------|
| 1. Light source               | 2. Short pass filter       | 3. Band pass filter          |
| 4. Fan                        | 5. Bifurcated fiber optics | 6. Light seal                |
| 7. Sample                     | 8. Photomultiplier tube    | 9. Magnetic shield case      |
| 10. High-voltage power supply | 11. Socket assembly        | 12. Low-voltage power supply |
| 13. Data acquisition card     | 14. Personal computer      | 15. Disk drive               |
| 16. Printer                   | 17. Monitor                |                              |

Fig. 1. Schematic diagram of instruments for optical properties measurement.

### 나) 광전달장치

광원과 시료표면, 시료와 감지기 사이에서 광의 효과적인 전달은 光纖維(fiber optics)에 의해서 이루어진다. 광섬유는 光을 전달시키는 매체로서 그 구조는 광이 전달되는 코어(core)와 외부로의 光損失을 방지하는 클래딩(cladding)으로 이루어진다. 클래딩이 부착되지 않은 광섬유는 광에너지의 일부를 전달시키며 대부분의 光은 외부로 손실된다. 그러므로 광섬유를 통과할 때 발생하는 광에너지의 손실을 방지하려면 클래딩이 부착된 광섬유의 사용이 바람직하다.

표 2는 본 실험에 사용된 광섬유의 규격을 나타낸 것이다. 광섬유는 광원과 시료표면, 시료와

감지기 사이에 효과적인 광전달을 위하여 2가닥으로 이루어진 光纖維다발(bifurcated fiber bundle)을 제작하여 사용하였다. 광섬유의 코어와 클래딩의 材質은 모두 투명플라스틱이며, 直徑은 코어의 경우 470 $\mu$ m, 클래딩은 500 $\mu$ m에 해당된다. 코어와 클래딩의 굴절율은 각각 1.49, 1.44이며 受光角은 0.40이다. 한편, 광섬유의 손실 정도는 650nm의 赤色光에서 450~550 dB/km로 나타났다.

Table 1. Specifications for instruments used in the experiment.

Item	Specifications
Light source	Halogen lamp 300W/120V
Short wavelength pass filter	stopband 700 nm
Band pass filter	400 to 700 nm
Fiber optic	Bifurcated bundle
Photomultiplier tube	Head-on type 2" diameter(R669)
High-voltage power supply	0 to $\pm$ 3,000 Vdc
Magnetic shield case	2" diameter
Socket assemblies	DA type connector input

다) 感知部

광학적 특성 측정 시스템의 감지부는 光電子 增倍管(photomultiplier tube), 磁場遮斷케이스(magnetic shield case), 高電壓電源(high-voltage power supply), 光電子增倍管用 소켓 및 增幅器(socket and amplifier), 增幅器用電源 등으로 이루어진다.

광전자증배관은 光電子를 발생시켜 眞空 가운데 放射시키는 photo-cathode, 入射窓(input window), 광전자를 끌어들이는 誘引電極(focusing electrodes), 광전자를 증폭시키는 dynodes 및 증폭된 광전자를 출력 신호로 集積하는 anode로 구성된다.

Table 2. Specifications for fiber optic.

Item	Specifications
Fiber	Bifurcated bundle
Material	
core	plastic
cladding	plastic
Diameter	
core	470 $\mu$ m
cladding	500 $\mu$ m
Refractive index	
core	1.49
cladding	1.44
Numerical aperture	0.40
Attenuation	450 to 550 dB/Km

표 3은 본 실험에 사용된 광전자증배관의 규격을 나타낸 것이다. 실험에 사용된 광전자증배관은 직경 2의 上部感知型으로서 300~900nm의 感知波長 영역을 갖고 있다. Photocathode의 재질은 multialkali (Na-K-Sb-Cs)로서 紫外線부터 近赤外線 영역에 이르기까지 광범위한 스펙트럴 반응특성을 지니고 있다. 광전자증배관 주위의 磁氣場은 광전자증배관의 利得을 감소시키기 때문에 磁場效果를 최소화시키기 위한 磁場遮斷方法이 요구된다. 본 연구에서는 磁場效果를 최소화시키기 위하여 직경 2의 磁場遮斷 case를 사용하였다. 광전자증배관에서의 출력은 cathode와 anode 사이의 공급전압에 따라 크게 변화한다. 더구나 공급전압의 미세한 변화에서도 출력의 정확도가 커다란 영향을 받기 때문에

安定성이 높은 高電壓 電源이 요구된다. 본 연구에서는 출력전압  $0 \sim \pm 3000$  Vdc, 최대출력전류 10mA의 안정성이 매우 높은 高電壓 電源을 사용하였다. 광전자증배관의 출력신호는 전류로 나타나므로 퍼스널컴퓨터를 이용하여 신호를 입력시키려면 anode에서 集積된 전류를 전압으로 변환시켜야 한다. 본 연구에 사용된 광전자증배관의 소켓은 내부에 電壓分岐 回路를 지니고 있을 뿐만 아니라 미약한 전류 신호를 전압으로 변환시키는 OP-amp(operational amplifier)가 들어 있다. 그림 2는 광전자증배관과 소켓의 결합형태를 나타낸 것이다.

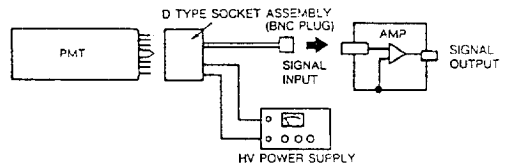


Fig. 2. Socket assemblies of connector-input type.

Table 3. Specifications for head-on type photomultiplier tube.

Item	Specifications
Type	R669(Hamamatsu)
Diameter	2"
Spectral range	300~900 nm
Peak wavelength	650 nm
Photo cathode material	Multialkali(Na-K-Sb-Cs)
Window material	Borosilicate glass
Cathode sensitivity	50 mA/W
Anode to cathode supply voltage	1000 Vdc
Anode sensitivity	$1.7 \times 10^4$ A/W
Current amplification	$3.3 \times 10^5$
Max. dark current	15 nA
Rise time response	9.0 nS

라) 자료수집처리부

사과의 광학적 특성 측정시스템에서 파장변화에 따른 분광반사특성을 분석하고자 퍼스널컴퓨터를 이용한 資料蒐集 시스템을 제작하였다. 소켓의 출력전압은 퍼스널컴퓨터에 장착된 자료수집카드(data acquisition card)의 A/D 변환에 의해서 보조 기억장치에 기억되거나 모니터로 출력된다. 표 4는 본 연구에 사용된 자료 수집카드의 규격을 나타낸 것이다.

1) 공시재료

광학적 특성을 측정하기 위하여 사용된 사과의 供試材料는 충북 영동지역의 농가에서 재배된 후지(Fuji) 품종으로서 着果 이후 표면의 着色을 균일하게 하고자 봉지를 씌운 有袋系(bagging cultivation)와 無袋系(non-bagging cultivation)를 공시재료로 선정하였다. 일반적으로 有袋系는 無袋系에 비해서 표면에서의 色澤이 약하고 葉綠素 含量이 낮으나, 着色度가 균일한 특성을 갖고 있다.

시료는 수확후 低溫貯藏庫에서 4週間 저장된 것으로서 肉眼으로 未熟, 適熟, 過熟 정도가 구분되는 有袋系와 無袋系를 각각 20 개씩 선택하여 광학적 특성을 측정하였다.

나. 실험방법

1) 반사특성 측정

후지品種의 有袋系와 無袋系 시료에 대한 반사특성의 측정방법은 다음과 같다. 광원에서 발

생된 광은 帶域通過필터에 의해서 單色光으로 바뀐 후 bifurcated 광섬유의 한가닥을 통하여 시료표면으로 입사된다. 果皮에서 반사된 광은 광섬유의 다른 가닥을 통하여 光電子增倍管에 의해서 감지된다.

시료에 대한 반사도는 시료표면의 원주 둘레 방향에서 90°간격으로 4회 측정하여 평균값으로 사용하였다. 반사스펙트럼은 400~700nm의 可視光線 영역에서 50nm 간격의 帶域通過필터를 사용하여 측정하였다.

未熟, 適熟, 過熟果에 대한 시료의 반사도는 시료표면에 입사된 복사에너지에 대한 反射光束

의 比로서 다음 식과 같이 표시된다.

$$R = \frac{I_r}{I_0} \times 100(\%) \dots \dots \dots (1)$$

R : 반사도 (%)

I<sub>0</sub> : 시료표면에 입사된 복사에너지

I<sub>r</sub> : 표면으로부터의 반사된 복사에너지

한편, 시료의 반사특성 및 투과특성을 측정할 때 果皮에서 反射光의 漏光 또는 불필요한 광의 流入에 세심한 주의가 요구된다. 그러므로, 광학적 특성의 측정시 원치 않는 광의 유입을 방지하기 위하여 暗條件에서 측정하였다.

Table 4. Specifications for data acquisition card.

Item	Specifications
Analog input channels	16 single-ended or 8 differential
resolution	12 bit
input range	Unipolar : +10V, +5V, +2V, +1V Bipolar : ± 10V, ± 5V, ± 2.5V, ± 1V, ± 0.5V
Conversion speed	60 KHz max

2) 품질평가요소 분석

시료의 광학적 특성과 품질평가요소와의 상관관계를 구명하고자 광학적 특성을 측정한 시료의 품질평가요소에 해당되는 葉綠素(chlorophyll) 함량, 안토시아닌 (anthocyanin) 함량, 可溶性 固形物質(soluble solids) 을 분석하였다. 이 가운데 엽록소 함량과 안토시아닌 함량은 사과 的 熟度를 판정하는 指數로 활용되며, 가용성 고형물질은 糖度를 나타내는 指數로 이용되고 있다. 품질평가요소의 분석방법을 간단하게 설명하면 다음과 같다.

① 葉綠素 含量 : 10 部位에서 果皮 20.6cm<sup>2</sup>를 취하여 95% MeOH 45cc로 15시간 추출한 후 651, 664nm에서 吸光度를 측정하여 전체 엽록소 함량을 결정하였다.

② 안토시아닌 含量 : 10 부위에서 果皮 20.6 cm<sup>2</sup>를 취하여 1.5 N HCl 과 95% EtOH를 15 : 85로 섞은 혼합용액 45cc로 15시간 추출한 후 535 nm의 吸光度로 나타내었다.

③ 可溶性 固形物質 : 반사도 측정부위에서 果汁을 채취하여 簡易屈折糖度計(Atago No.1) 로 측정하였다.

3) 광학적 특성과 품질평가요소의 상관관계 분석

과실의 품질평가 방법을 제시하고자 시료의 광학적 특성과 품질평가요소의 상관관계를 분석하였다. 후지品種의 有袋系와 無袋系에 대한 반사특성과 품질평가 요소의 상관관계는 SAS (Statistical Analysis System)의 單純相關分析法에 따른 相關係數의 有意性 檢定에 의해서 비교 분석하였다.

### 3. 結果 및 考察

#### 가. 光源의 스펙트럼

시료의 광학적 특성을 측정하고자 光源으로 300W, 120Volts의 할로겐 전구(halogen lamp)를 사용하였다. 400~700nm의 可視光線 영역에서 50nm 간격의 帶域 通過필터와 광섬유를 이용한 할로겐전구의 스펙트럼이 그림 3에 실려있다. 스펙트럼은 光電子増倍管의 photocathode와 anode에 공급되는 전압을 -160Volts로 고정시킨 가운데 측정하였다. 스펙트럼 측정결과 650 nm의 赤色光에서 最大의 強度를 나타내었으며 赤色光을 前後하여 강도가 감소하는 것으로 나타났다.

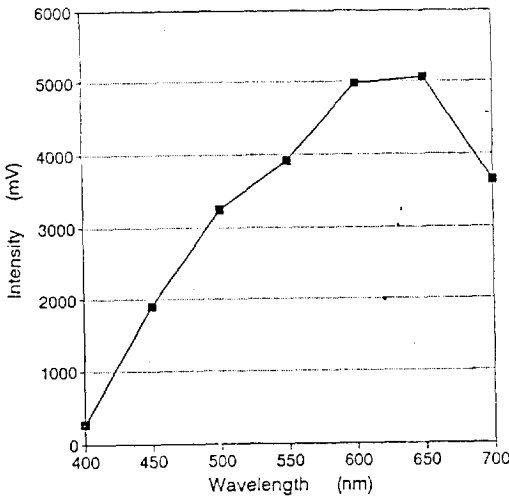


Fig. 3. Spectrum of light source at supplied voltage of -160 Volts.

#### 나. 반사 특성

후지품종의 有袋系 시료에서 未熟, 適熟, 過熟 果에 대한 果皮의 반사특성이 그림 4에 실려있다. 그림 4 와 5에서 사용된 기호 LM, M, FM 은 각각 未熟, 適熟 및 過熟果를 의미한다. 그림에서

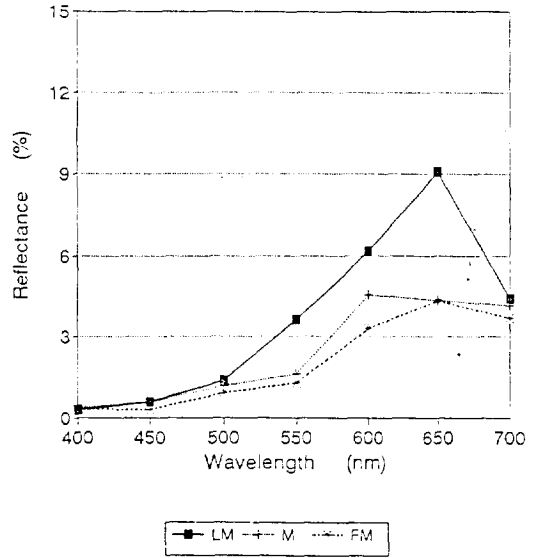


Fig. 4. Reflectance curves for bagging cultivation of Fuji variety.

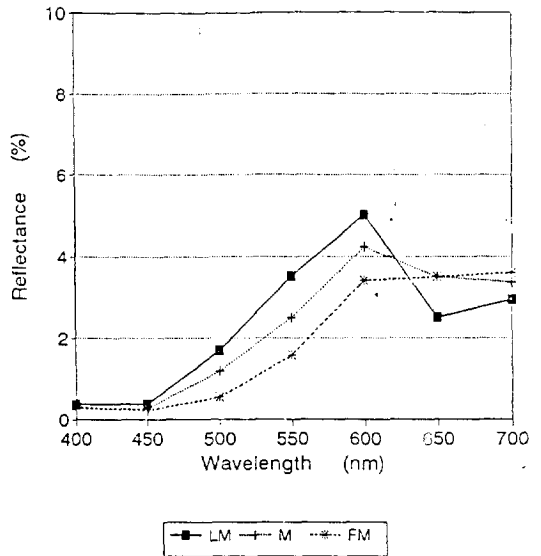


Fig. 5. Reflectance curves for non-bagging cultivation of Fuji variety.

알수 있는 바와 같이 未熟果의 경우 650nm의 赤色光에 이르기까지 반사도가 증가하나, 그 이후의 파장에서는 반사도가 감소하는 것으로 나타났다. 適熟 또는 過熟果의 반사도는 未熟果에 비해서 전체적으로 작게 나타났으나 650nm 이상의 파장에서는 거의 균일하게 나타났다.

無袋系 시료의 미숙, 적숙, 과숙과에 대한 반사특성이 그림 5에 실려있다. 無袋系의 스펙트럼은 有袋系의 경우와 거의 유사하게 나타났다. 未熟果의 반사도는 600nm의 영역까지 適熟 또는 過熟果에 비해서 높은 값을 갖는 것으로 나타났으나, 650nm 이후의 파장에서는 未熟果의 반사도가 낮은 것으로 나타났다. 이러한 현상은 사과의 熟度가 높을수록 엽록소 함량이 감소하기 때문인 것으로서 이전의 Norris(1958), Sidwell等(1961), Bittner 와 Norris(1968)의 연구 결과와도 일치한다. 일반적으로 葉綠素는 675 nm 부근의 영역에서 吸收度가 높기 때문에 엽록소 함량이 많을수록 반사도는 떨어지게 된다. 따라서, 適熟 또는 過熟果일수록 엽록소 함량이 감소하여 650~700nm 영역에서 未熟果의 반사도가 낮게 나타난다.

有袋系의 未熟果와 適熟果, 無袋系의 未熟果와 適熟果에 대한 반사특성의 비교가 그림 6에 실려 있다. 그림에서 사용된 기호 NBLM, NBM은 無袋系의 未熟果와 適熟果를 의미하며 BLM, BM은 有袋系의 未熟 및 適熟果에 해당된다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 有袋系의 반사도가 600nm 이후에서 未熟果와 適熟果에서 모두 높

게 나타났다. 이것은 有袋系 시료의 엽록소 함량이 無袋系에 비해서 전체적으로 낮기 때문인 것으로 판단된다.

다. 광학적 특성과 품질평가요소의 상관관계

광학적 특성 측정시스템을 이용하여 측정된 사과의 광학적 특성 및 有袋系와 無袋系로 구분되는 시료의 엽록소 함량, 안토시아닌 함량, 가용성 고형물질 등과의 상관관계를 분석하였다.

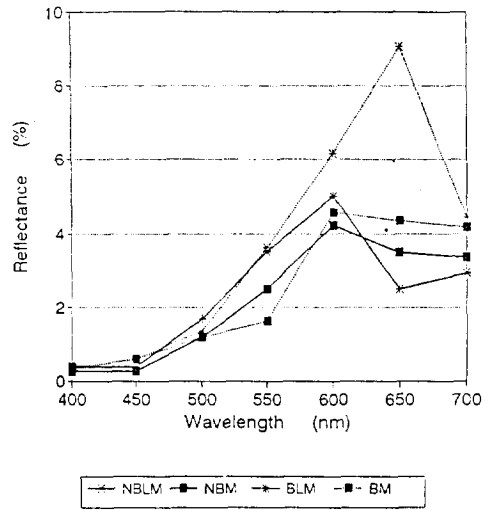


Fig. 6. Comparison of reflectance for bagging and non-bagging cultivation of Fuji variety.

Table 5. Correlation coefficients between reflectance and quality indices for bagging cultivation of Fuji variety.

Indices	Wavelength				
	500nm	550nm	600nm	650nm	700nm
Chlorophyll	0.0179	0.1696	0.1637	-0.1258	-0.1701
Anthocyanin	-0.4278	-0.7730**	-0.8386**	-0.6458*	-0.2701
Soluble solids	-0.3939	-0.1306	0.0614	-0.0017	-0.1077

\* means significance level at the 5%

\*\* means significance level at the 1%



有袋系의 반사도와 품질평가요소의 상관관계를 相關係數로 나타낸 값이 표 5에 실려있다. 표로부터 알 수 있는 바와같이 안토시아닌 함량과 반사도와의 상관계수는 600nm의 파장영역에서 -0.8386으로 가장 높게 나타난 가운데 1% 수준에서 有意性이 인정되었다. 한편, 반사도와 엽록소 함량, 가용성 고형물질과의 상관계수는 매우 낮게 나타났으며 유의성이 인정되지 아니하였다.

표 6은 無袋系의 반사도와 품질평가요소의 상관관계를 나타낸 것이다. 표에서 알 수 있는 바와같이 반사도와 엽록소함량 사이의 상관계수는 650nm의 파장 영역에서 -0.8082로 비교적 높게 나타난 가운데 1% 수준에서 유의성이 인정되었다. 안토시아닌 함량은 550nm 영역에서 -0.8768로 가장 높게 나타났으며 0.1% 수준에서 高度의 유의성이 인정되었다. 또한, 가용성 고형물질은 500nm 에서 -0.8840의 最高値를 나타낸

Table 6. Correlation coefficients between reflectance and quality indices for non-bagging cultivation of Fuji variety.

Indices	Wavelength				
	500nm	550nm	600nm	650nm	700nm
Chlorophyll	0.7051*	0.7107*	0.5907	-0.8082**	-0.4042
Anthocyanin	-0.8593**	-0.8768***	-0.7382*	0.5653	0.4403
Soluble solids	-0.8840***	-0.8584**	-0.7698*	0.4654	0.4203

- \* means significance level at the 5%
- \*\* means significance level at the 1%
- \*\*\* means significance level at the 0.1%

Table 7. Comparison of correlation coefficients between reflectance difference and quality indices for bagging and non-bagging cultivation of Fuji variety.

Reflectance difference	Bagging			Non-bagging		
	Chloro-phyll	Antho-cyanin	Soluble solids	Chloro-phyll	Antho-cyanin	Soluble solids
R <sub>500-550</sub>	-0.1908	0.7764**	0.0443	-0.6375*	0.8590**	0.7801**
R <sub>500-600</sub>	-0.1659	0.7915**	-0.1316	-0.3638	0.4846	0.5404
R <sub>500-650</sub>	-0.1248	0.6047	-0.0408	0.8772***	-0.7767**	-0.7181*
R <sub>500-700</sub>	0.1796	-0.0142	-0.1521	-0.6543*	-0.7633**	-0.7639*
R <sub>550-600</sub>	-0.0628	0.4237	-0.2309	0.5155	-0.7014*	-0.5137
R <sub>550-650</sub>	-0.0631	0.3822	-0.0757	0.8289**	0.8762***	-0.8033**
R <sub>550-700</sub>	0.2532	-0.7483*	-0.1023	0.7250*	-0.9108***	-0.8666**
R <sub>600-650</sub>	-0.0282	0.1463	0.0535	0.7953**	-0.7806**	-0.7652**
R <sub>600-700</sub>	0.2166	-0.8075**	0.0928	0.6476*	-0.7891**	-0.8207**
R <sub>650-700</sub>	0.1682	-0.6615*	0.0172	-0.4704	0.2183	0.1391

- \* means significance level at the 5%
- \*\* means significance level at the 1%
- \*\*\* means significance level at the 0.1%

가운데 0.1 % 수준에서 고도의 유의성이 인정되었다.

표 7은 有袋系와 無袋系의 波長別 反射度差와 품질평가요소의 상관관계에 대한 상관계수를 나타낸 것이다. 표에서 알 수 있는 바와 같이 反射度差에 대한 엽록소 함량, 안토시아닌 함량, 가용성 고형물질의 상관계수가 有袋系에 비해서 無袋系에서 전체적으로 높게 나타났다. 이러한 이유는 無袋系가 有袋系에 비해서 표면에서의 색택이 강할 뿐만 아니라 엽록소 함량이 높기 때문인 것으로 판단된다.

有袋系의 경우 반사도차와 안토시아닌 함량 사이의 상관계수는 600nm 와 700nm의 반사도차( $R_{600-700}$ )에서 -0.8075의 최고치를 나타내었으며 이 값은 1 % 수준에서 유의성이 인정되었다. 이밖에 有袋系의 엽록소 함량, 가용성 고형물질과 반사도차와의 상관계수는 낮은 값을 나타내어 유의성이 인정되지 아니하였다.

無袋系에서 엽록소 함량과 반사도차의 상관계수는 500nm와 650nm 의 반사도차( $R_{500-650}$ )에서 0.8772 를 나타내며 0.1% 수준에서 고도의 유의

성이 인정되었다.

안토시아닌과 반사도차의 상관계수는  $R_{550-700}$ 에서 -0.9108,  $R_{550-650}$ 에서 -0.8762 의 높은 상관계수를 나타낸 가운데 각각 0.1 % 수준에서 고도의 유의성을 나타내었다. 가용성 고형물질과 반사도차의 상관계수는  $R_{550-700}$ 에서 -0.8666 을 나타낸 가운데 1% 수준에서 유의성이 인정되었다.

표 8은 有袋系와 無袋系의 波長別 反射度比와 품질평가요소의 상관관계에 대한 상관계수를 나타낸 것이다. 反射度差와 품질평가요소의 관계에서와 마찬가지로 無袋系의 경우 有袋系에 비해서 높은 상관계수를 나타내었다.

有袋系의 경우 反射度比와 안토시아닌 함량과의 상관계수는 500nm의 반사도에 대한 550nm의 反射度比, 즉  $R_{550/500}$ 에서 -0.7537 을 나타낸 가운데 5 % 수준에서 유의성을 나타내는 데 불과하였다. 한편, 有袋系의 엽록소 함량, 가용성 고형물질과 反射度比 사이의 상관계수에서는 각각 유의성이 인정되지 않는 것으로 나타났다.

無袋系에서는 엽록소 함량과 反射度比와의 상

Table 8. Comparison of correlation coefficients between reflectance ratio and quality indices for bagging and non-bagging cultivation of Fuji variety.

Reflectance ratio	Bagging			Non-bagging		
	Chlorophyll	Anthocyanin	Soluble solids	Chlorophyll	Anthocyanin	Soluble solids
$R_{700/650}$	-0.1661	0.6717*	-0.0406	0.5010	-0.2266	-0.1575
$R_{700/600}$	-0.2183	0.6656*	-0.1358	-0.6876*	0.8022**	0.8597**
$R_{700/550}$	-0.2265	0.6894*	0.1820	-0.7492*	0.9637***	0.9251***
$R_{700/500}$	-0.1526	0.3438	0.4622	-0.6313	0.7807**	0.8555**
$R_{650/600}$	-0.0798	0.1576	-0.1198	-0.8502**	0.7495*	0.7437*
$R_{650/550}$	-0.1687	0.3172	0.2978	-0.8087**	0.8769***	0.8024**
$R_{650/500}$	0.0781	-0.4675	0.2228	-0.7606*	0.7723*	0.8090**
$R_{600/550}$	-0.1277	0.2726	0.2450	-0.6461*	0.8964***	0.7688**
$R_{600/500}$	0.1089	-0.5863	0.3180	-0.6044	0.7533*	0.8075**
$R_{550/500}$	0.1945	-0.7537*	0.0316	0.2243	-0.3515	-0.1599

\* means significance level at the 5%  
 \*\* means significance level at the 1%  
 \*\*\* means significance level at the 0.1%

관계수가  $R_{650/600}$ 에서  $-0.8502$ 을 나타내며 1% 수준에서 유의성이 인정되었다. 안토시아닌 함량과 反射度比와의 상관계수는  $R_{700/550}$ ,  $R_{600/550}$ ,  $R_{650/550}$ 의 경우 모두 0.1% 수준에서 고도의 유의성이 인정되었다. 이 가운데  $R_{700/550}$ 에서의 상관계수는 0.9637로서 최고치를 나타내어 안토시아닌 함량의 평가에 효과적으로 이용될 것으로 판단된다. 가용성 고형물질과 反射度比와의 상관계수는 안토시아닌 함량의 경우에서와 마찬가지로  $R_{700/550}$ 에서 0.9251의 높은 값을 나타낸 가운데 0.1% 수준에서 고도의 유의성이 인정되었다.

상기의 결과로부터 반사특성과 품질평가요소의 상관관계는 有袋系에 비해서 無袋系에서 높게 나타났음을 알 수 있다. 반사특성을 反射度差와 反射度比로 구분하여 품질평가요소와의 상관계수를 검토한 결과 無袋系의 엽록소 함량은  $R_{500-650}$ 의 反射度差에서 높게 나타나 500nm와 650nm에서의 反射度差가 無袋系의 엽록소 함량의 평가에 효과적일 것으로 판단된다. 한편, 안토시아닌 함량과 가용성 고형물질은 모두 550nm에 대한 700nm에서의 反射度比, 즉,  $R_{700/550}$ 에서 상관계수의 최고치를 나타내어 無袋系의 안토시아닌 함량과 가용성 고형물질의 평가에 550nm와 700nm의 두 파장의 反射度比를 이용하는 것이 효과적일 것으로 판단된다.

#### 4. 結 論

사과의 품질을 非破壞的으로 평가하고자 光學的特性을 이용한 반사 특성 측정시스템을 개발하였다. 개발된 측정시스템에 따라 후지 품종의 有袋系와 無袋系 가운데 未熟, 適熟, 過熟果를 肉眼으로 구분한 후 400~700nm의 可視光線 영역에서 반사 스펙트럼에 따른 광학적 특성을 구명하였다. 또한, 과실의 품질평가를 위한 광학적 특성을 기준을 제시하고자 광학적 특성과 품질평가요소의 상관관계를 분석하였다. 이상의 분석결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 사과의 품질을 비파괴적으로 평가할 수 있

는 광학적 특성 측정시스템에서 光源과 시료표면, 시료표면과 感知器 사이의 효과적인 광전달을 위하여 光纖維를 사용한 결과 그 가능성을 확인하였다.

2) 有袋系의 果皮의 반사도는 未熟果의 경우 650nm 영역에 이르기까지 증가한 후 점차 감소하는 것으로 나타났으며, 適熟 및 過熟果에서는 650nm의 영역 이후 반사도가 일정하게 나타났다. 無袋系의 반사특성은 650nm에서 未熟果의 반사 특성을 제외하면 有袋系의 경우와 거의 유사하게 나타났으나 전체적으로 有袋系에 비해서 낮게 나타났다.

3) 波長別 反射特性和 품질평가요소의 상관관계를 분석한 결과, 有袋系의 경우, 안토시아닌 함량과 반사도와의 상관계수는 600nm에서  $-0.8386$ 을 나타낸 가운데 1% 수준에서 有意성이 인정되었다. 無袋系의 경우, 엽록소 함량과 반사도와의 상관계수는 650nm에서  $-0.8082$ 를 나타낸 가운데 1% 수준에서 유의성이 인정되었다. 안토시아닌 함량과 반사도와의 상관계수는 550nm에서  $-0.8768$ , 가용성 고형물질과 반사도와의 상관계수는 500nm에서  $-0.8840$ 을 나타낸 가운데 각각 0.1% 수준에서 高度의 有意성이 인정되었다.

4) 波長別 反射度, 反射度差, 反射度比와 같은 반사특성과 품질평가요소와의 상관관계에 대한 相關係數는 有袋系에 비해서 無袋系에서 높게 나타났다.

5) 사과의 반사특성을 反射度差와 反射度比로 구분하여 품질평가요소와의 상관계수를 검토하였다. 無袋系의 경우 엽록소 함량은  $R_{500-650}$ 의 反射度差에서 0.8772의 상관계수를 나타낸 가운데 0.1% 수준에서 高度의 有意성이 인정되어 엽록소 함량의 판정에  $R_{500-650}$ 의 反射度差를 이용하는 것이 효과적일 것으로 판단된다.

또한, 안토시아닌 함량과 가용성 고형물질은  $R_{700/550}$ 의 反射度比에서 각각 0.9637, 0.9251의 높은 값을 나타낸 가운데 0.1% 수준에서 高度의 有意성이 인정되어  $R_{700/550}$ 의 反射度比를 이용하는 것이 품질평가에 효과적인 것으로 나타났다.

## 參考文獻

1. Birth, G. S. and K. H. Norris. 1958. An instrument using light transmittance for nondestructive measurement of fruit maturity. *Food tech.* 12(11) : 592-595.
2. Birth, G.S. and K.L. Olsen. 1964. Nondestructive detection of water core in delicious apples. *Proc. Am. Soc. Hort. Sci.* 85 : 74-84.
3. Birth, G.S. 1967. A fiber optics reflectance attachment. *Agric. Eng.* 48(8) : 448-449.
4. Bittner, D.R. and K.H. Norris. 1968. Optical properties of selected fruits vs maturity. *Trans. of the ASAE* 11(4) : 534-536.
5. Bramlage, W. J. and M. R. Shipway. 1967. Loss of water core and development of internal breakdown during storage of 'Delicious' apples, as determined by repeated light transmittance measurements of intact apples. *Amer. Soc. Hort. Sci.* 90 : 475-483.
6. Brown, G. K., L. J. Segerlind, and R. Summitt. 1974. Near-infrared reflection of bruised apples. *Trans of the ASAE* 17(1) : 17-19.
7. Chen, P. 1978. Use of optical properties of food materials in quality evaluation and materials sorting. *J. Food Process Eng.* 2 : 307-322.
8. Chen, P. and V.R. Nattuvetty. 1980. Light transmittance through a region of an intact fruit. *Trans. of the ASAE* 23(2) : 519-522.
9. Clark, R.L. and P. S. Shackelford, Jr. 1973. Resonance and optical properties of peaches as related to flesh firmness. *Trans. of the ASAE* 16(6) : 1140-1142.
10. Francis, F.J., W.J. Bramlage, and W.J. Lord. 1965. Detection of water core and internal breakdown in delicious apples by light transmittance. *Amer. Soc. Hort. Sci.* 87 : 78-84.
11. Gaffney, J. J. 1973. Reflectance properties of citrus fruits. *Trans of the ASAE* 16(2) : 310-314.
12. Kawano, S., H. Watanabe, and M. Iwamoto. 1989. Measurement of sugar contents in intact peaches by NIRS. *Proc. of the 2nd International NIRS Conferance, Tsukuba, Japan.*
13. Long, J. F. and B. K. Webb. 1973. Correlations of reflectance ratios to maturity for whole peaches. *Trans. of the ASAE* 16(4) : 922-925.
14. Massie, D. R. and K. H. Norris. 1965. Spectral reflectance and transmittance properties of grain in the visible and near-infrared. *Trans. of the ASAE* 8(4) : 598-600.
15. Mohsenin, N. M. 1984. *Electromagnetic radiation properties of foods and agricultural products.* Gordon & Breach Science Publishers, Inc.
16. Norris, K. H. 1958. Measuring light transmittance properties of agricultural commodities. *Agric. Eng.* 39(10) : 640-643, 651.
17. Rehkgugler, G.E., T.L. Stiefater, and J.A. Throop. 1971. An optical bruise detection technique. *Trans. of the ASAE* 14(6) : 1189-1194.
18. Sidwell, A.P., G.S. Birth, J.V. Ernest, and C. Golumbic. 1961. The use of light transmittance techniques to estimate the chlorophyll content and stage of maturation of Elberta peaches. *Food tech.* 19(3) : 75-78.
19. Watada, A. E., K. H. Norris, J. T. Worthington, and D. R. Massie. 1976. Estimation of chlorophyll and carotenoid contents of whole tomato by light absorbance technique. *J. Food Sci.* 41 : 329-332.
20. Zanger, H. and C. Zanger. 1991. *Fiber optics.* Macmillan Publishing Co., Inc.
21. 天間 毅, 上田 映介, 松江 一, 篠木 藤敏. 1990. 近赤外分光法によるリンゴ糖度の測定. 第6回 非破壊計測 シンポジウム. 98-102.
22. 盧祥夏, 池田善郎, 山下律也. 1990. 벼의 分光 反射特性和 이를 利用한 精白米의 白度 測定 器 開發. 韓國農業機械學會誌 15(1) : 33-43.