

근적외선을 이용한 사과의 당도예측 ( I )<sup>†</sup>  
- 다중회귀모델 -

Predicting the Soluble Solids of Apples by Near Infrared  
Spectroscopy ( I )  
- Multiple Linear Regression Models -

이 강 진\* W. R. Hruschka\*\* J. A. Abbott\*\* 노 상 하\*\*\* B. S. Park\*\*  
정회원 정회원  
K. J. Lee S. H. Noh

ABSTRACT

The MLR(Multiple Linear Regression) models to estimate soluble solids content non-destructively were presented to make a selection of optimal photosensor utilized to measure the soluble solids content of apples. Visible and NIR absorbance in the 400 to 2498 nanometer(nm) wavelength region, soluble solids content(sugar content), hardness, and weight were measured for 400 apples(*gala*). Spectrophotometer with fiber optic probe was utilized for spectrum measurement and digital refractometer was used for soluble solids content. Correlation between absorbance spectrum and soluble solids content was analyzed to pick out the optimal wavelengths and to develop corresponding prediction model by means of MLR. For the coefficient of determination( $R^2$ ) to be over 0.92, the MLR models out of the original absorbance were built based on 7 wavelengths of 992, 904, 1096, 1032, 880, 824, 1048nm, and the ones of the second derivative absorbance based on 5 wavelengths of 784, 1056, 992, 808, 872nm. The best model of the second derivative absorbance spectrum had  $R^2=0.91$ , bias = -0.02bx, SEP=0.28bx for unknown samples.

**주요용어(Key Words):** 가용성고형물(soluble solids content), 다중회귀(multiple linear regression), 포토센서(photosensor), 흡광도(absorbance)

<sup>†</sup> 이 연구는 농촌진흥청 농업기계화연구소와 미국 농무성 농업연구청(USDA, ARS) 사이에 수행되고 있는 한미 국제공동연구과제인 "비파괴 과실품질판정기술 개발(Non-destructive evaluation in fruits)"의 일환으로 수행된 것임.

\* 농촌진흥청 농업기계화연구소

\*\* U. S. A., USDA, ARS, NRI, Instrumentation & Sensing Laboratory

\*\*\* 서울대학교 생물자원공학부 농업기계전공

## 1. 서 론

농산물의 품질(quality)은 농산물의 특성 또는 우수한 정도를 총괄적으로 표현하는 말로서, 무게, 색깔, 형상, 표면상태 등의 외부요인과 식미, 영양가, 육질, 보존성, 가공성, 내부공동 및 결함 등의 내부요인이 있다. 이러한 농산물의 품질을 판정하는 기술은 전기, 전자 기술의 발전 및 관련 센서기술 등의 발달과 더불어 다양화되어 많은 연구기관이나 대학교에서 연구되고 있다.

지금까지의 연구는 외부품질요인의 판정과 이에 개입되는 작업자의 주관을 지양하고 객관성있는 판정기술개발을 추구하고 있었는데, 근래에 들어와 내부품질요인까지 판정할 수 있는 기술개발의 필요성이 급속히 증대되고 있다.

청과물의 내부품질요인, 즉 당도나 산도의 측정, 내부 갈변과 부패, 결함 등을 검사하는데 있어서 파괴적인 방법에 의존하고 있는 화학적인 분석방법은 신속하지 못하고, 전수조사가 아닌 표본조사이기 때문에 정확성 또한 의문시된다. 한편, 생산자인 농민의 입장에서 볼 때 파괴적인 방법은 생산물의 손실을 초래할 뿐만 아니라 부정확한 판정결과로 인하여 애써 생산한 농산물을 제값을 받지 못하고 시장으로 출하시키는 경우가 발생하며, 소비자 입장에서는 표본조사에서 오는 부정확한 결과의 부당성을 농민과 더불어 감내할 수 밖에 없다. 따라서 이러한 점들을 감안해 볼 때 신속하면서 동시에 전수조사가 가능한 농산물의 비파괴 내부품질 판정기술의 개발이 절실히 요망된다.

최근까지 농산물 비파괴 품질평가에 응용된 기술들을 보면, 영상처리기법은 각종 농산물의 크기, 형상, 색채, 외부결점 등 성분의 정량분석에, X선 CT 스캔법은 청과물의 내부결함과 공동판정에, 핵자기 공명법(NMR)은 청과물의 속도 및 내부상태 판정에, 음파와 초음파는 각각 청과물의 조직구조 및 점탄성, 그리고 축산물의 피하지방과 근육지방상태 등 육질평가에 활용되었다. 그러나, 실용화된 사례는 아직 일부에 불과하다.

본 연구에서는 미국산 사과( gala )의 근적외선 흡수스펙

트럼을 이용하여 사과의 내부 품질요인 중 사람이 느끼는 맛과 가장 깊게 관련된 인자인 당도를 비파괴적으로 예측할 수 있는 회귀모델(당도예측모델)을 개발하기 위하여 다중회귀분석법을 이용하였고, 이를 통해 당도 판정에 유의한 파장 및 파장대역을 구명하고자 하였다.

본 연구의 구체적인 목적은 다음과 같다.

(1) 근적외선 분광특성을 이용하여 사과의 당도를 비파괴적으로 측정할 수 있는 다중회귀 당도예측모델을 개발한다.

(2) 개발된 모델을 미지시료에 대해 검증한다.

(3) 개발된 모델의 예측결과를 토대로 근적외선을 이용한 사과의 비파괴 당도판정장치 개발에 필요한 센서의 선정기준을 제시한다.

## 2. 재료 및 방법

1996년 9월 4일에 수확된 Philadelphia산 사과(gala) 400개를 공시재료로 1996년 10월 26일부터 11월 8일까지 공시재료의 가시광선 및 근적외선 흡수스펙트럼(400~2,498nm)과 가용성 고형물 함량(당도) 및 경도, 중량 등을 측정하였다.

측정된 흡수스펙트럼과 당도와의 상관관계를 구명하기 위하여 빛을 이용한 정량 정성 분석에서 널리 사용되고 있는 다중회귀분석(Multiple Linear Regression, 이하 MLR)을 도입하여 최적의 파장을 선정하고 최적 당도예측 모델을 개발한 후 이를 검증하여 과실의 비파괴 당도판정용 근적외선 센서개발에 활용하고자 하였다.

### 가. 공시재료의 흡수 스펙트럼 및 물성 측정

사과의 가시광선 및 근적외선 흡수스펙트럼을 측정하기 위하여 분광광도계(Model 6500, NIRSystems, USA)를 이용한 실험장치를 그림 1과 같이 구성하였으며, 이 때 광섬유방식의 모듈을 사용하여 반사율을 측정한 후, 이를 다시 흡광도로 환산하여 사용하였다. 흡수스펙트럼은 400nm에서 2,498nm까지 2nm 간격으로 측정하였으나, 사용된 광섬유 모듈의 특성

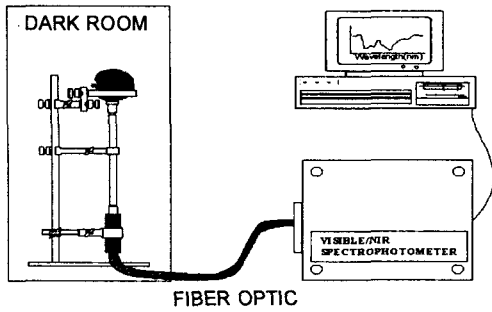


Fig. 1 Schematic of visible/NIR reflectance measurement system.

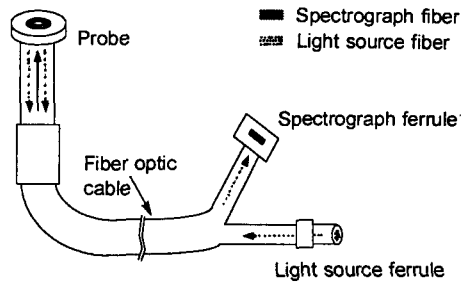


Fig. 2 Fiber optic bifurcated cable.

Table 1 Selected wavelength and pretreatment for NIR analysis

Case	Wavelength range	Input data	No. of wavelength	Analysis interval
I	400~1,800nm	$\log(1/R)$	176	8nm
II		$d^2\log(1/R)_{\Delta\lambda=30nm}$	176	
III	800~1,100nm	$\log(1/R)$	38	
IV		$d^2\log(1/R)_{\Delta\lambda=30nm}$	38	

\*  $d^2$  : 2nd derivative, R : reflectance

상 1,800nm 이상에서는 광섬유에 의해 흡수되는 근적외선의 양이 증대되고 잡음이 증폭되어 출력되므로, 여기서 나오는 신호를 올바른 신호로 판단할 수 없어 1,800nm를 넘는 파장은 분석시에 고려하지 않았다. 광섬유 모듈의 광 경로는 그림 2와 같다.

당도는 굴절당도계(PR-1, ATAGO, Japan)를 사용하여 측정하였다. 또한 스펙트럼 측정시 모든 실험은 적도부위에서 이루어졌으며, 한 사과 당 두 개씩 총 400개의 시료에 대해 800개의 데이터를 획득하였다. 당도판정모델의 개발을 위해 한 쪽 부위의 400개 데이터를 이용하였고, 이를 검증하기 위한 미지 시료로서는 반대편 200개의 데이터를 이용하였다.

#### 나. 당도예측모델의 파장대역 및 분석

측정된 흡수스펙트럼을 사용하여 당도를 간접적으로 측정하기 위해 정량정성분석에서 널리 사용되고 있는 다중회귀분석법으로 최적의 파장을 선정하

고 최적 당도예측모델을 개발한 후 이를 검증하였다. 분석대상 파장대역 및 전처리는 표 1과 같이 4가지 경우로 설정하였다.

반사스펙트럼의 전처리를 하지 않은 Case I, Case III의 두 경우와 데이터를 전처리한 경우, 즉 30nm의 간격으로 2차 미분 처리한 Case II, Case IV의 두 경우로 나누어 분석하였는데, 이 때 분석에 사용된 모든 파장은 8nm 간격으로 선택하였다.

2차미분 전처리한 Case II와 Case IV는 스펙트럼 측정시에 나타나는 기준선 이동에 의한 기계적인 오차의 감소효과가 있으며, 특히 두 가지 이상의 성분이 중첩되어 있을 경우 이를 각각의 성분으로 분리하여 나타낼 수 있다.

또한 Case III과 Case IV는 일반적으로 당도와 관련이 없는 것으로 알려진 가시광선 영역을 분석에서 제외하기 위하여 사용한 것이며, 기기의 특성상 1,100nm 이하에서 사용되는 광섬유와 1,100nm 이상에서 사용되는 광섬유로 구분되기 때문에 모델개발

에 있어서 이러한 기기 특성을 고려한 것인데, 이것은 현재 시판중인 광다이오드어레이센서의 파장대역과도 일치한다.

당도예측모델의 개발에서 다중회귀분석은 미국 농무성에서 개발되어 사용되고 있는 SPAN 소프트웨어(USDA, ARS, ISL)를 이용하였으며, 통계 패키지(SAS version 6.11, SAS institute Inc)를 이용하여 개발된 모델을 검증하였다.

다. 다중회귀모델의 조건

물질내의 성분이 빛을 흡수하는 세기(흡광도)는 그 성분의 농도에 비례하므로 성분농도와 흡광도와 관계를 미리 구해 두면, 흡광도에서 미지 시료의 성분 농도를 구할 수가 있다. 농산물이나 식품과 같은 생물 시료의 흡광도는 몇 개 성분이 단일 파장에서 흡수가 겹쳐 나타나기 때문에 하나의 파장만으로 그 성분을 추정하기가 어려우므로 흡수파장 이외의 다른 성분의 영향을 제거해야 한다.

근적외선 분광분석법에서는 구하고자 하는 성분을 종속변수로 하고 그 시료의 흡광도나 흡광도의 2차 미분값을 독립변수로 하여 다음 식 (1)과 같이 당도예측모델을 작성한다.

$$y = a + b_1 \chi(\lambda_1) + b_2 \chi(\lambda_2) + \dots + b_n \chi(\lambda_n) \dots (1)$$

여기서,

y : 당도(bx)

a : 절편

b<sub>1</sub> ... b<sub>n</sub> : 회귀계수

$\chi(\lambda_i)$  : 파장 i nm에서의 흡광도 또는 흡광도의 2차 미분값

한편, 임의의 파장 b nm에서의 흡광도의 2차미분값은 그림 3에서와 같이 b nm에서의 흡광도  $\log(1/R_b)$ 와 b nm 좌우의 일정한 간격인 파장 a와 c의 흡광도  $\log(1/R_a)$ ,  $\log(1/R_c)$ 를 이용하여 다음 식 (2)와 같이 정의된다. 2차 미분값은 파장의 간격에 따라 달라지게 되므로 파장간격( $\Delta\lambda$ )을 30nm로 고정하였다.

$$d^2\log(1/R_b) = \log(1/R_a) + \log(1/R_c) - 2 \times \log(1/R_b) \dots (2)$$

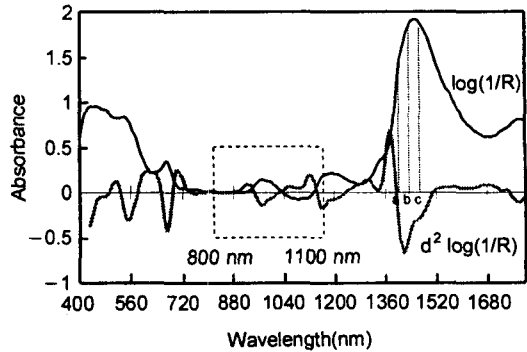


Fig. 3 Absorbance and its 2nd-derivative spectrum.

여기서,

$d^2\log(1/R_b)$  : 파장 b nm에서의 흡광도의 2차미분값

$\log(1/R_a)$  : 파장 a nm에서의 흡광도

$\log(1/R_b)$  : 파장 b nm에서의 흡광도

$\log(1/R_c)$  : 파장 c nm에서의 흡광도

3. 결과 및 고찰

가. 사과의 물성

당도, 중량, 경도 등의 측정결과는 표 2와 같다. 당도예측모델 작성용 시료의 당도는 최소 9.1bx에서 최대 15.4bx로 나타났으며, 평균은 11.8bx였다. 중량은 최소 105.8g에서 최대 202.4g까지 분포하였다. 한국산 후지사과가 평균 250g 이상되는 것에 비해, 미국산 사과는 그 크기가 상대적으로 작음을 알 수 있다.

나. 당도예측모델의 개발 및 평가

(1) Case I

400nm~1,800nm의 파장대역에서 전 파장에 대한 흡광도를 8nm 간격으로 추출한 총 176개의 파장에 대한 흡광도를 입력데이터인 독립변수로 한 다중회귀분석을 이용하여 당도예측모델을 개발하였다.

Table 2 Measurement data of soluble solids content, weight and firmness for apples

Apple (philadelphia gala)	SS*(bx)			Weight(g)			Firmness(N)		
	Max.	Min.	Avg.	Max.	Min.	Avg.	Max.	Min.	Avg.
Calibration set (n = 400)	15.4	9.1	11.75	202.4	105.8	144.0	80.24	42.36	60.38
Prediction set (n = 200)	14.4	9.4	11.76						

\* SS : soluble solids content(brix)

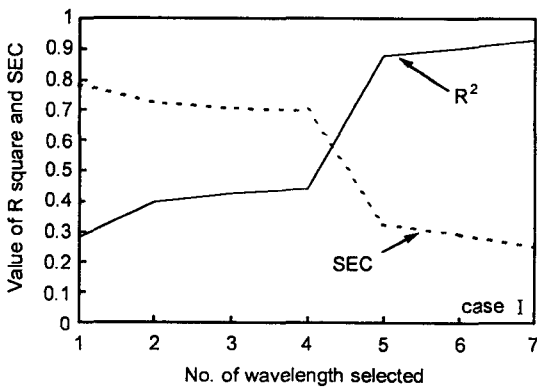
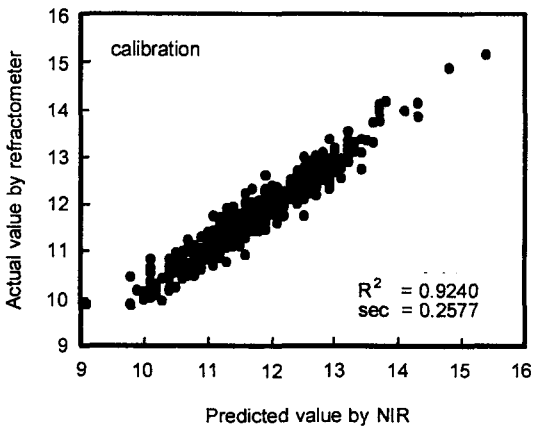


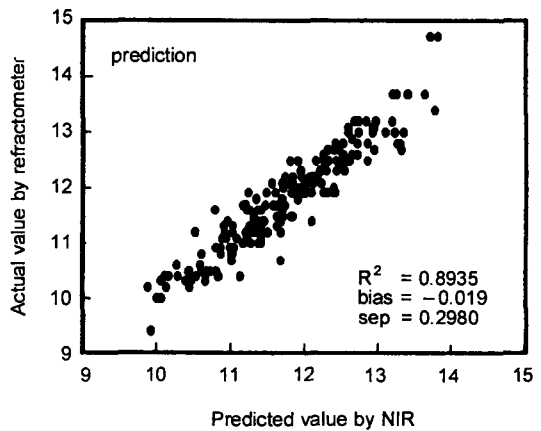
Fig. 4 Change of coefficient of determination in calibration process with respect to no. of wavelength(case I).

그림 4에서 보는 바와 같이 당도예측모델의 개발에 필요한 파장을 선정하기 위하여 파장수를 증가시키면서 그 때의 실측치와 예측치 사이의 결정계수의 변화를 고찰한 결과, 총 176개의 파장중에서 7개 이상을 선택하여 식 (3)과 같은 당도예측모델을 개발하였으며, 결정계수( $R^2$ )가 0.92 이상으로 증대되고, 모델작성시의 표준오차(SEC)는 0.26bx 이하로 감소하여 양호한 결과를 얻을 수 있었다.

$$\begin{aligned}
 SS(\text{brix}) = & 10 + 2768 \times \log(1/R_{856}) + 2327 \times \log(1/R_{904}) \\
 & - 1192 \times \log(1/R_{1096}) + 1373 \times \log(1/R_{1072}) \\
 & - 5253 \times \log(1/R_{880}) + 481 \times \log(1/R_{968}) \\
 & - 509 \times \log(1/R_{960}) \dots\dots\dots (3)
 \end{aligned}$$



(a) calibration



(b) prediction

Fig. 5 Calibration and prediction by MLR model in the 400 to 1,800 nm wavelength region.

여기서, 856, 904, 1,096, 1,072, 880, 968, 960nm의 7개 파장을 선택하여 MLR 모델을 개발한 결과 그림 5(a)에서 보는 바와 같이 결정계수가 0.924, 표준오차(SEC) 0.258bx로 나타났으며, 개발된 모델을 이용하여 미지시료의 당도를 예측한 결과는 그림 5(b)와 같이 결정계수 0.894, bias -0.019bx, 예측치의 표준오차(SEP)는 0.298bx로 나타나 비교적 예측성이 양호한 것으로 판단되었다.

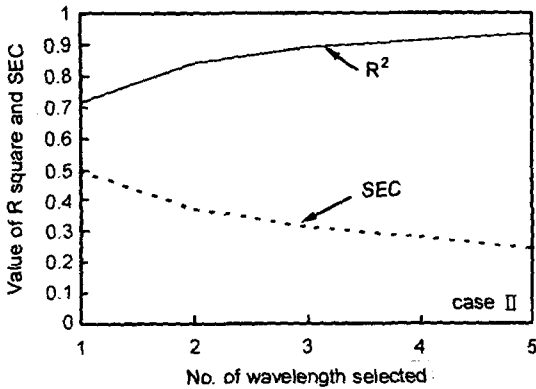


Fig. 6 Change of coefficient of determination in calibration process with respect to no. of wavelength(case II).

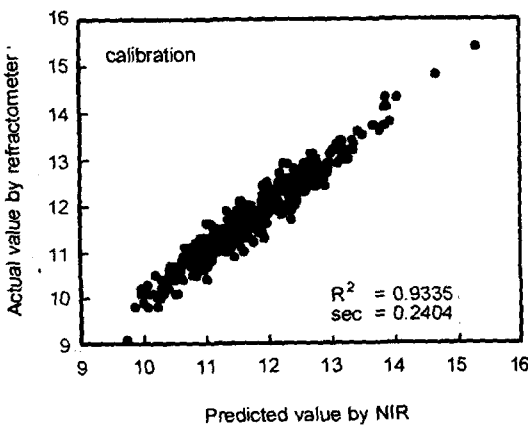
(2) Case II

400nm~1,800nm의 파장대역에서 전파장에 대한 흡광도를 간격 30nm로 2차 미분하고 이를 다시 8nm 간격으로 추출한 총 176개의 파장에 대한 2차 미분의 흡광도를 독립변수로 갖는 다중회귀분석을 이용하여 당도예측모델을 개발하였다.

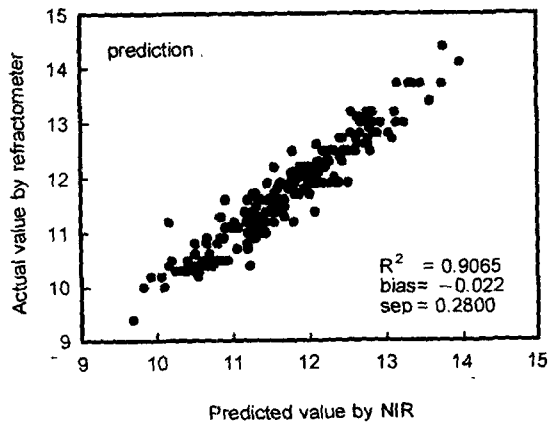
그림 6에서 보는 바와 같이 당도예측모델의 개발에 필요한 파장을 선정하기 위하여 파장수를 증가시키면서 그때의 실측치와 예측치 사이의 결정계수의 변화를 고찰한 결과, 총 176개의 파장중에서 5개 이상을 선택하여 식 (4)와 같은 당도예측모델을 개발한 경우 결정계수( $R^2$ )가 0.92 이상으로 증대되었으며, 모델작성시의 표준오차(SEC)는 0.28bx 이하로 감소하여 양호한 결과를 얻을 수 있었다.

$$SS(brix) = 12 - 180 \times \log(1/R_{784}) - 888 \times \log(1/R_{1036}) - 462 \times \log(1/R_{992}) - 379 \times \log(1/R_{808}) - 1424 \times \log(1/R_{872}) \dots\dots\dots (4)$$

여기서, 784, 1056, 992, 808, 872nm의 5개 파장을 선택하여 MLR 모델을 개발한 결과, 그림 7(a)에서 보는 바와 같이 결정계수가 0.934, SEC 0.240bx로 나타났으며, 개발된 모델을 이용하여 미지시료의 당도를 예측한 결과는 그림 7(b)와 같이 결정계수 0.907,



(a) calibration



(b) prediction

Fig. 7 Calibration and prediction using 2nd derivative MLR model in the 400 to 1,800nm wavelength region.

bias  $-0.022bx$ , SEP  $0.280bx$ 로 비교적 양호한 것으로 판단되었다.

(3) Case III

800nm~1,100nm의 파장대역에서 전파장에 대한 흡광도를 8nm 간격으로 추출한 총 38개의 파장에 대한 흡광도를 입력데이터인 독립변수로 한 다중회

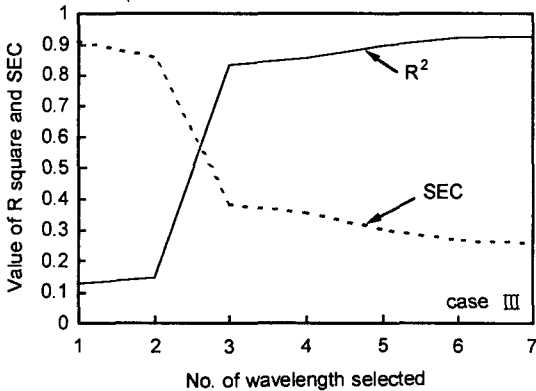


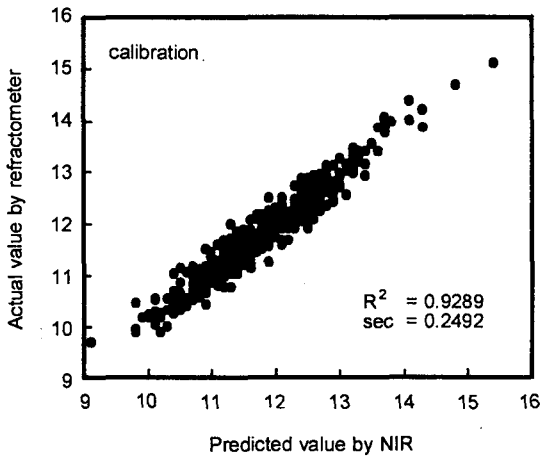
Fig. 8 Change of coefficient of determination in calibration with respect to no. of wavelength(case III).

귀분석을 이용하여 당도예측모델을 개발하였다.

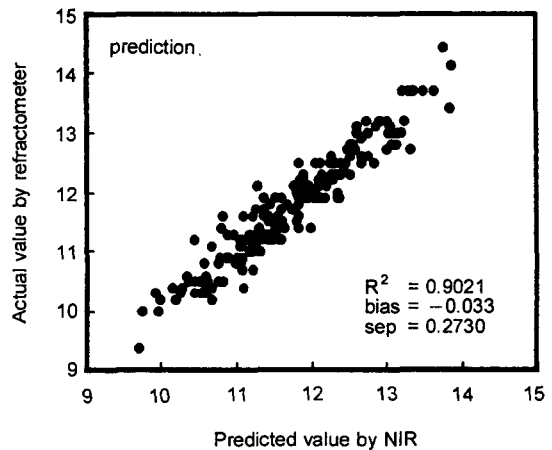
그림 8에서 보는 바와 같이, 당도예측모델의 개발에 필요한 파장을 선정하기 위하여 파장수를 증가시키면서 그 때의 실측치와 예측치 사이의 결정계수의 변화를 고찰한 결과, 총 38개의 파장중에서 7개 이상을 선택하여 식 (5)와 같은 당도예측모델을 개발한 결과, 결정계수( $R^2$ )가 0.92 이상으로 증대되며, 모델작성시의 표준오차(SEC)는  $0.25bx$  이하로 감소하여 양호한 결과를 얻을 수 있었다.

$$\begin{aligned}
 SS(\text{brix}) = & 2.7 + 415 \times \log(1/R_{992}) + 1675 \times \log(1/R_{904}) \\
 & - 2687 \times \log(1/R_{880}) - 2297 \times \log(1/R_{1032}) \\
 & - 789 \times \log(1/R_{824}) + 3288 \times \log(1/R_{1048}) \\
 & - 1186 \times \log(1/R_{1096}) \dots\dots\dots (5)
 \end{aligned}$$

여기서, 992, 904, 880, 1,032, 824, 1,048, 1,096nm의 7개 파장을 선택하여 MLR 모델을 개발한 결과, 그림 9(a)와 같이 결정계수가 0.929, SEC가  $0.249bx$ 로 나타났으며, 개발된 모델을 이용한 미지시료의 당도를 예측한 결과 그림 9(b)에서 보는 바와 같이 결정계수는 0.902, bias  $-0.033bx$ , SEP는  $0.273bx$ 로 예측의 정밀도가 높게 나타남을 알 수 있다.



(a) calibration



(b) prediction

Fig. 9 Calibration and prediction using MLR model in the 800 to 1,100nm wavelength region.

(4) Case IV

800nm~1,100nm의 파장대역에서 전파장에 대한 흡광도를 간격 30nm로 2차 미분하고, 이를 다시 8nm 간격으로 추출한 총 38개의 파장에 대한 2차 미분의 흡광도를 독립변수로 하고, 당도를 종속변수로 한 다중회귀분석을 이용하여 당도예측모델을 개발하였다.

그림 10에서 보는 바와 같이 당도예측모델의 개발

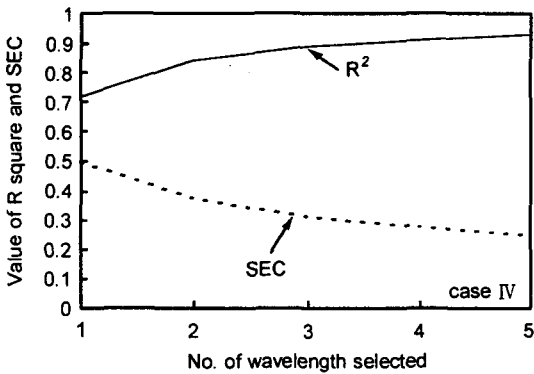
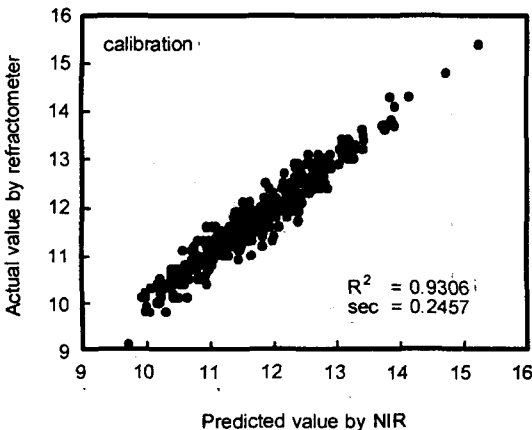


Fig. 10 Change of coefficient of determination in calibration with respect to no. of wavelength(case IV).

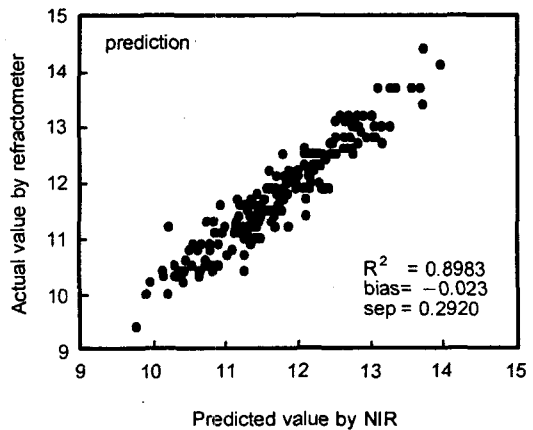
에 필요한 파장을 선정하기 위하여 파장수를 증가시키면서 그 때의 실측치와 예측치 사이의 결정계수의 변화를 고찰한 결과, 총 38개의 파장중에서 5개 이상을 선택하여 식 (6)과 같은 당도예측모델을 개발한 경우 결정계수( $R^2$ )가 0.92 이상으로 증대되며, 모델작성시의 표준오차(SEC)는 0.25bx 이하로 감소하는 양호한 결과를 얻을 수 있었다.

$$SS(\text{brix}) = 11 + 3 \times \log(1/R_{1096}) - 798 \times \log(1/R_{1056}) - 429 \times \log(1/R_{992}) + 243 \times \log(1/R_{816}) - 1397 \times \log(1/R_{872}) \dots\dots\dots (6)$$

여기서, 총 38개의 파장 중 1,096, 1,056, 992, 816, 872nm의 5개 파장을 선택하여 MLR 모델을 개발한 결과, 그림 11(a)에서 보는 바와 같이 결정계수가 0.931이고, SEC가 0.248bx로 나타났으며 개발된 모델을 이용하여 미지시료의 당도를 예측했을 때의 결과는 그림 11(b)에서와 같이 결정계수가 0.898, Bias -0.022bx, SEP는 0.292bx로 나타나 미지시료를 이용한 예측시의 오차는 약간 증가하는 것으로 나타났다.



(a) calibration



(b) prediction

Fig. 11 Calibration and prediction using 2nd derivative MLR model in the 800 to 1,100nm wavelength region.



Table 3 Comparison of MLR models with respect to pretreatment and wavelength range

Case		I	II	III	IV
Wavelength		400~1,800nm		800~1,100nm	
Pretreatment		log(1/R)	d <sup>2</sup> log(1/R)	log(1/R)	d <sup>2</sup> log(1/R)
No. of input data		177	177	39	39
No of selected wavelength		7	5	7	5
Calibration models	R <sup>2</sup>	0.9240	0.9335	0.9289	0.9306
	SEC(bx)	0.2577	0.2404	0.2492	0.2457
Prediction models	R <sup>2</sup>	0.8935	0.9065	0.9021	0.8922
	Bias(bx)	-0.0190	-0.0220	-0.0330	-0.0230
	SEP(bx)	0.2980	0.2800	0.2730	0.2930

다. 각 모델의 결과 비교

분석에 필요한 파장대역과 전처리를 달리한 4가지 경우의 모델개발 결과를 나타내면 표 3과 같다. 4가지 경우에 최적으로 선택된 모델들의 예측오차가 0.3bx 이하로 모두 아주 양호한 결과를 나타냈으며, 대체적으로 당도의 예측에 유의하다고 판정되는 파장은 780nm에서 1,100nm의 파장대역에 속해 있음을 알 수 있었다. 그 중에서도 전파장 대역을 포함하고 2차미분 흡수스펙트럼을 입력변수로 한 Case II의 모델이 모델개발시의 결정계수와 SEC가 각각 0.9335, 0.2404bx로서 가장 우수하였다. 그러나, 이 경우 2차미분의 전처리를 해야하는 점과 전파장 대역의 파장에 대하여 빛을 조사해야 하는 단점이 있으며, 또한 2차미분의 특성상 한 파장에 대한 2차미분값을 구하기 위해서는 앞뒤의 파장에 대한 흡수스펙트럼도 측정해야 하기 때문에 실제로 필터를 이용한 장치를 구성하기 위해서는 총 15개의 필터가 필요해 장치가 더욱 복잡해질 우려가 있으므로 이 모델의 적용에는 주의가 필요하다고 사료된다.

반면에 전파장대역을 사용하지 않고 800nm에서 1,100nm까지의 일부 파장대역을 대상으로 파장의 전처리를 거치지 않은 상태에서 개발된 Case III의 모델은 분석에 소요되는 파장대역도 짧고, 파장수도

7개로서 많지 않으며 미지 시료의 당도예측에 있어서도 SEP가 가장 낮아 당도를 예측하는데 전파장을 분석대상으로 한 Case II 모델보다 더 경제적인 것으로 판단된다.

4. 요약 및 결론

본 연구는 사과와 비파과 당도판정장치 개발에 필요한 광센서를 선정할 목적으로 다중회귀분석을 도입하여 적절한 당도예측모델을 개발하고자 수행되었다. 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

사과(*gala*) 400개에 대하여 가시광선 및 근적외선 흡수스펙트럼(400~2,498nm)과 가용성 고형물 함량 및 경도, 중량 등을 측정하였다. 스펙트럼의 측정을 위하여 광섬유프로브가 장착된 분광광도계를 이용하였으며, 당도는 디지털 굴절당도계를 이용하여 측정하였다.

측정된 흡수 스펙트럼과 당도와의 상관관계를 구명하기 위하여 다중회귀분석법을 도입하여 최적의 파장을 선정하고 최적 당도예측모델을 개발한 후 이를 검증하여 과실의 비파과 당도판정용 근적외선 센서개발에 활용하고자 하였다.

다중회귀분석에 의한 모델개발에 있어서 최적모델의 선정은 파장의 전처리를 하지 않은 경우는

992, 904, 1,096, 1,032, 880, 824, 1,048nm 등 7개의 파장을, 2차미분 전처리를 한 경우는 784, 1,056, 992, 808, 872nm 등 5개의 파장만을 이용하였을 때 모델의 예측치와 실측치사이의 결정계수를 0.92 이상으로 증대시킬 수 있었으며, 2차미분데이터를 이용하여 개발한 예측모델로 미지 시료의 당도를 예측했을 때의 결정계수와 바이어스, SEP는 각각 0.91, -0.02bx, 0.28bx로 성능이 아주 양호하였다.

### 참 고 문 헌

1. 김재민, 최창현, 민봉기, 김종훈. 1998. 분광분석법을 이용한 단립 쌀의 함수율 및 단백질 함량 예측모델 개발. 한국농업기계학회지 23(1):49-56.
2. 김형욱. 1995. 근적외선 분광분석법에 의한 과실의 비파괴 당도 측정. 서울대학교 석사학위논문.
3. 최규홍. 1994. 비파괴검사기술의 농업적 이용현황과 전망. 주변첨단기술의 농업기계분야 이용현황과 전망 심포지엄. 농업기계화연구소. 31-52.
4. 최창현, 이강진, 박보순. 1997. 가시광선/근적외선 분광분석법을 이용한 사과와 배의 당도 및 경도 측정. 한국농업기계학회지 22(2):256-265.
5. 西村 功ら. 1990. 品質評價技術の實用化. 青果物の貯蔵・流通の新技術.
6. 市川 哲生ら. 1992. 近赤外重回歸分析裝置とその應用. 島律評論 別刷. 49(1-2):11-18.
7. 木村美紀夫. 1993. 近赤外線による果實非破壞検査システムの取組み組みと課題. 果實日本. 48(2):31-35.
8. 河野澄夫ら. 1989. 近赤外分光分析法による温州ミカンの糖度, 酸度の非破壞計測. 園藝學會積. 58(別 2):604-605.
9. 天間毅ら. 1990. 近赤外分光法によるリンゴ糖度の測定. 第6回 非破壞計測シンポジウム. 98-102.
10. David, C. S. 1992. Near Infrared Analysis of Soluble Solids in Peaches. ASAE paper No. 92-7056.
11. Kawano, S., H. Watanabe and M. Iwamoto. 1992. Determination of sugar content in intact peaches by near infrared spectroscopy with fiber optics in interactance mode. J. Jpn. Soc. Hort. Sci. 61(2):445-451.