

근적외선을 이용한 신고 배 당도판정에 있어  
표면온도영향의 보정

Compensation of Surface Temperature Effect in Determination  
of Sugar Content of *Shingo* Pears using NIR

이강진	최규홍	김기영	최동수
정회원	정회원	정회원	정회원
K. J. Lee	K. H. Choi	G. Y. Kim	D. S. Choi

**ABSTRACT**

This research was conducted to develop a method to remove the effect of surface temperature of *Shingo* pears for sugar content measurement. Sugar content was measured by a near-infrared spectrum analysis technique. Reflected spectrum and sugar content of a pear were used for developing regression models. For the model development, reflected spectrums having wavelengths in the range of 654 to 1,052nm were used. To remove the effect of surface temperature, special sample preparation techniques and partial least square (PLS) regression models were proposed and tested.

71 *Shingo* pears stored in a cold storage, which had 2°C inside temperature, were taken out and left in a room temperature for a while. Temperature and reflected spectrum of each pear was measured. To increase the temperature distribution of samples, temperature and reflected spectrum of each pear was measured four times with one hour twenty minutes interval. During the experiment, temperature of pears increased up to 17°C. The total number of measured spectrum was 284.

Three groups of spectrum data were formed according to temperature distribution. First group had surface temperature of 14°C and total number of 51. Second group consisted of the first and the fourth experiment data which contained the minimum and the maximum temperatures. Third group consisted of 155 data with normal temperature-distribution. The rest data set were used for model evaluation.

Results showed that PLS model I, which was developed by using the first data group, was inadequate for measuring sugar content of pears which had different surface temperatures from 14°C. After temperature compensation, sugar content predictions became close to the measured values. Since using many data which had wide range of surface temperatures, PLS model II and III were able to predict sugar content of pears without additional temperature compensation. PLS model IV, which included the surface temperatures as an independent variable, showed slightly improved performance( $R^2 = 0.73$ ). Performance of the model could be enhanced by using samples with more wide range of temperatures and sugar contents.

**Keywords** : Near-infrared spectrum analysis, Temperature compensation, Partial Least Square, *Shingo* Pear.

---

The article was submitted for review in October 2001, and approved for publication by the editorial board of KSAM in November 2001. The authors are K. J. Lee, K. H. Choi, G. Y. Kim and D. S. Choi in the Div. of Fundamental Engineering and Technology, National Agricultural Mechanization Research Institute. The corresponding author is K. J. Lee, Researcher, Div. of Fundamental Engineering and Technology, National Agricultural Mechanization Research Institute, 249 Suhdun-dong, Kwonsun-ku, Suwon City, 441-100, Korea. E-mail : <jini2002@rda.go.kr>.

## 1. 서 론

배는 사과와 더불어 국내 주요 생산 과실중의 하나로 최근 그 소비가 증대되고 있다. 배는 가정은 물론 선물용으로 많이 소비되며 다른 과실과 달리 대과가 선호되는 과실로서 1999년 현재 생산면적은 국내 과일류 총 생산면적 176천 ha 중 약 1/7에 달하는 26천 ha, 생산량은 26천톤에 달한다.

배의 여러 품종 중에서 가장 많이 재배되는 것은 신고 품종으로 국내 배 재배면적의 85%를 차지한다. 신고 품종의 외형적 특징으로는 중량이 450 g에서 500 g 정도이며 과형은 원형으로 좌우 대칭이고 반듯하여 외관이 좋으나, 소과의 경우 떼은맛이 있어서 소비자의 선호도가 떨어지는 경향이 있다. 최근 육종된 신품종을 제외한 기존 품종 중 품질이 가장 우수하여 현재 가장 많이 보급되어 있으며, 대외 수출시장에 한국의 대표 과실로 잘 알려져 있다. 배의 상품성을 높이기 위한 선별은 지금까지 주로 중량에 의존하여 왔으며, 색깔이나 당도 등은 육안에 의한 경험적인 방법과 표본추출에 의한 통계적 방법으로 판정되어 왔다.

그러나, 국내에서도 소득증대에 따른 소비자 인식의 변화 및 대외 수출기준에 적합한 고품질의 배의 선별 필요성이 제기되면서 당도와 같은 내부 품질의 비파괴적인 판정기술의 개발 요구가 증대되어 연구소와 학교 등 여러 기관에서 당도 및 산도의 비파괴 예측을 위하여 근적외선 분광법을 이용한 연구가 수행되어 왔다(노 등, 1997; 최 등, 1997; 이 등, 1998).

국외에서는 근적외선 분광법을 이용하여 감귤을 비롯하여 복숭아, 사과, 키위, 생우유 등 보다 다양한 시료의 내부 품질을 판정하기 위한 연구가 오래 전부터 수행되어 왔다(Kawano 등, 1993; Kawano 등, 1992; David 등, 1992; Irawan 등, 1995; Schaare 등, 2000; Chen 등, 1999). 한편, Kawano 등(1995)은 근적외선 분광법을 이용하여 복숭아의 당도를 예측하기 위한 모델 개발에서 근적외선 스펙트럼은 시료의 온도에 영향을 받으며, 특히 841nm에서 966nm 대역에서 근적외선이 흡수되는 세기가 증가하는 것으로 보고하였다. Bellon-Maurel 등(1996)은 근적외선 스펙트럼을 온라인으로 측정할 때 온도에 대한 고려가 중요하며, 당도의 경우 15℃의 온도차이가 약 3 brix의 편차를 초래하는 것으로 보고하였다.

따라서, 본 연구는 근적외선 분광법을 이용하여

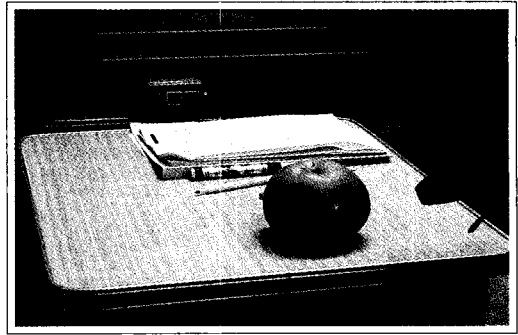


Fig. 1 Temperature measurement of Shingo pear.

배의 당도를 판정함에 있어서 표면 온도의 영향을 검토하고, 이의 영향을 상쇄할 수 있는 안정적인 당도판정법을 개발하기 위하여 수행되었다.

## 2. 재료 및 방법

본 실험의 공시재료는 경기도 화성군에서 생산된 '98년도산 신고 배로서 순화를 위하여 구입 후 3일간 2℃ 저온저장고에 저장한 후 실험에 사용하였다.

먼저, 비접촉식 적외선 온도계(Yokogawa 530, Japan)를 사용하여 표면의 온도를 측정하고(그림 1), '98년 농업기계화연구소에서 개발된 비파괴과일당도판정기(이 등, 1998)를 이용하여 초당 3개의 속도로 시료를 이송시키면서, 654 nm에서 1,052 nm까지의 근적외선을 시료의 적도면에 조사한 후 이 때 반사되어 나오는 스펙트럼을 측정하였다.

실험에 사용된 배는 총 71개로서, 대형선과장의 일반적인 선별과정과 유사하게 저온저장고에서 꺼내어 상온에 둔 채로 온도가 상승하는 동안 각각의 시료에 대하여 1시간 20분의 간격을 두고 4시간 동안 4회에 걸쳐 동일한 면에 대하여 온도와 스펙트럼을 측정하였다. 실험 초기 시료의 최저 온도는 2℃였으며 최종 실험을 끝냈을 때(4시간 후) 최고 온도는 17℃였다(그림 2).

시료의 당도는 온도와 반사스펙트럼을 측정하면서 굴절당도계(Atago, Japan)를 사용하여 측정하였다. 시험에 사용된 신고 배의 당도는 그림 3에 나타낸 바와 같이 최저 10.3 brix에서 최고 13.3 brix로 약 3 brix의 범위내에 분포하였고, 이때, 가장 많은 당도값을 나타낸 범위는 11 brix와 12 brix 사이로서 시료의 절반이상이 분포하였다.

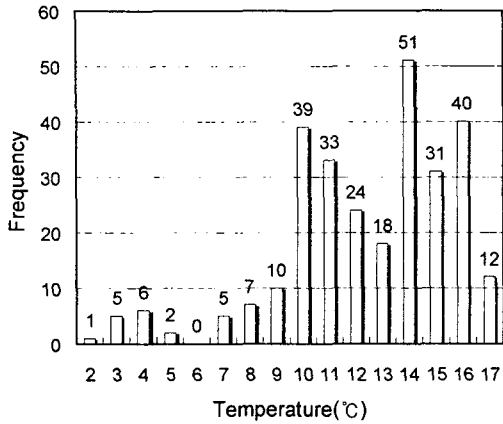


Fig. 2 Distribution of surface temperatures.

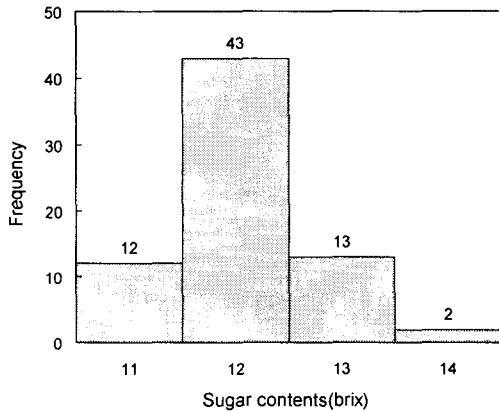


Fig. 3 Distribution of sugar contents of pears.

가. 당도판정모델 개발을 위한 스펙트럼 전처리

당도판정을 위한 모델개발에 이용할 최적 파장

대역과 간격, 스펙트럼 전처리기법을 선정하기 위하여 먼저 654~1,052 nm의 전파장대역, 전파장을 반분한 654~853 nm의 파장대역, 그리고 854~1,052 nm의 파장대역 등 총 3 영역으로 구분하였다. 다음에 각 파장대역에 대하여 스펙트럼의 해상도를 결정하고자 각각 2.5 nm, 5 nm, 7.5 nm씩 간격을 두고 데이터를 추출한 세 가지 스펙트럼을 재구성하였다. 이 9가지 경우를 원 반사스펙트럼으로 두고, 이를 그대로 이용할 때와 1차 전처리로서 gap을 10 nm, 20 nm, 30 nm로 하였을 때의 1차 미분과 2차 미분 반사스펙트럼을 이용한 7가지 경우로 구분하였으며 이들 각각의 경우에 대하여 아무런 처리를 하지 않은 것과 2차 전처리로서 Mean-Centering 처리를 한 경우, 그리고 다분산 보정을 한 경우를 조합한 총 189가지 경우에 대하여 PLS 분석을 실시하였다. PLS 분석에는 Grams/32 (Galactic Co., U.S.A.)를 이용하였다.

예비분석결과, 가장 우수한 방법은 전파장범위의 반사스펙트럼을 이용하고 아무런 전처리를 하지 않은 상태에서 2.5 nm 간격으로 데이터를 추출한 경우로 나타나, 본 연구에서는 이 방법을 채택하여 PLS 모델을 개발하였다. 모델 개발시의 최적 요인수는 교차검정법을 이용하여 PRESS가 최저로 되는 지점에서의 요인수로서 결정하였다.

나. PLS 모델의 조건

당도판정용 PLS 모델은 표 1에 나타낸 바와 같이 1) 가장 많은 온도분포를 나타낸 14°C의 스펙트럼 데이터 51개를 이용한 경우(PLS 모델 I), 2) 온도가 가장 낮은 1회 시험과 가장 높은 4회 시험의 데이터를 이용한 경우(PLS 모델 II), 3) 총 284개의 스펙트럼 데이터를 온도에 따라 정렬한 다음 일정 간격으로 추출한 155개의 데이터를 이용한 경우(PLS 모델 III), 4) 측정된 표면온도를 하나의 스펙트럼 데이터에 추가하여 스펙트럼 데이터를

Table 1 Conditions for PLS modeling

Case	Wavelength range	Input data	Analysis interval	Sample no.	
				Calibration set	Prediction set
I	654~1,052 nm	Reflectance	2.5 nm	51	233
II				141	143
III				155	129
IV				142	142

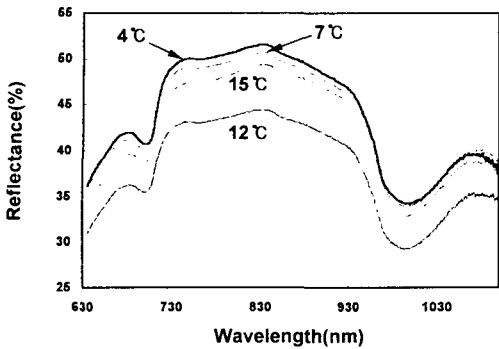


Fig. 4 Reflectance and wavelength relationships with different temperatures of a sample.

재구성하는 경우(PLS 모델 IV) 등 총 4가지 경우에 대해 부분최소제곱회귀법(Partial Least Square Regression)을 사용하여 개발하였다. 개발된 당도판정모델은 모델 개발에 이용되지 않은 나머지 시료의 당도를 개발된 모델을 이용하여 예측하는 방법으로 검증하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 가. 온도별 스펙트럼

저장중인 배를 상온에 방치하면서 온도의 상승에 따른 스펙트럼을 측정할 결과는 그림 4에 나타낸 바와 같이 대체로 온도가 낮을수록 반사도는 증가하는 것으로 나타났다. 4°C나 7°C일 때가 12°C나 15°C일 때보다 높은 반사도를 나타내 이는 당도 예측모델에도 영향을 줄 것으로 판단된다.

#### 나. PLS 모델 I

##### (1) 당도 예측모델 개발

가장 많은 온도를 나타낸 14°C의 시료 44개를 이용하여 654 nm에서 1,052 nm까지 2.5 nm 간격으로 획득한 반사스펙트럼을 이용하여 PLS 모델을 개발할 경우의 최적 요인수는 그림 5에서 보는 바와 같이 9개였으며, 이 때의 결정계수와 SECV는 그림 6에 나타낸 바와 같이 각각 0.52, 0.49이었다.

##### (2) 모델 검증

모델 개발시에 포함되지 않은 223개의 시료를 이용하여 앞에서 개발된 PLS 모델 I의 예측성능을

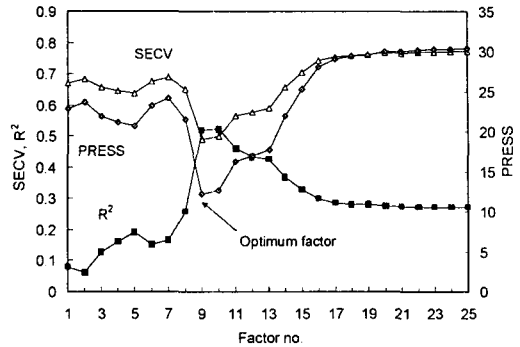


Fig. 5 Changes of SECV, PRESS and  $R^2$  by number of factors in PLS model I.

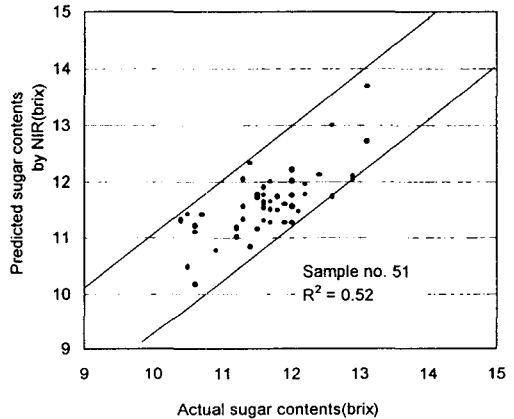


Fig. 6 Calibration model for PLS model I with 9 factors.

검증한 결과는 그림 7과 같다.

예측에 사용된 시료는 온도가 다양하게 분포하므로 온도별로 각각의 시료에 대해 선형회귀를 한 결과 당도 12 bx 기준으로 보았을 때, 대체적으로 시료의 온도가 14°C보다 높을 경우는 1°C 높을 때마다 예측치는 0.45 bx 낮게 나타났으며, 시료의 온도가 14°C보다 낮을 때는 0.14 bx 낮게 예측하고 있음을 알 수 있었다.

##### (3) 온도의 보상

앞에서 나타난 온도의 영향을 보상하여 당도를 예측한 결과를 그림 8에 나타내었다. 이 때의 SEP는 온도 보상전의 0.89 bx에서 0.52 bx로 낮아지고,  $R^2$ 는 0.19에서 0.48로 증대되어 온도 보상의

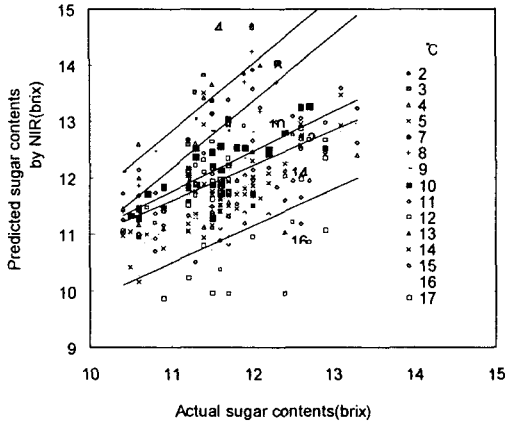


Fig. 7 Prediction results using PLS model I without compensating temperature effect.

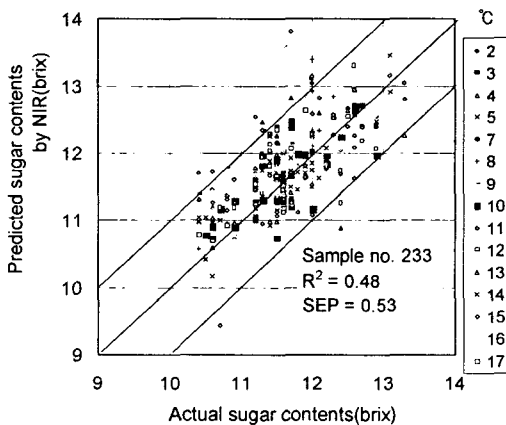


Fig. 8 Prediction results using PLS model I with temperature compensation.

효과가 있음을 알 수 있다.

#### 다. PLS 모델 II

##### (1) 당도 예측모델 개발

PLS 모델 II에서는 1회에 측정된 시료와 마지막 4회에 측정된 시료 141개를 이용하여 모델 개발에 이용하였다. 사용한 파장대역은 모델 I에서와 같고, 최적요인수는 그림 9에서와 같이 PRESS와 SECV가 최소가 되는 지점에서의 11개로 결정하였으며, 이 때의  $R^2$ 는 0.6, SECV는 0.43이었다

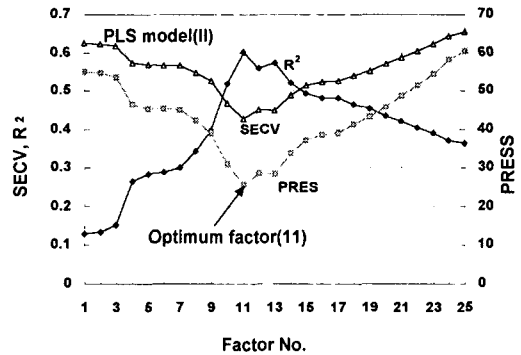


Fig. 9 Changes of SECV, PRESS and  $R^2$  by number of factors in PLS model II.

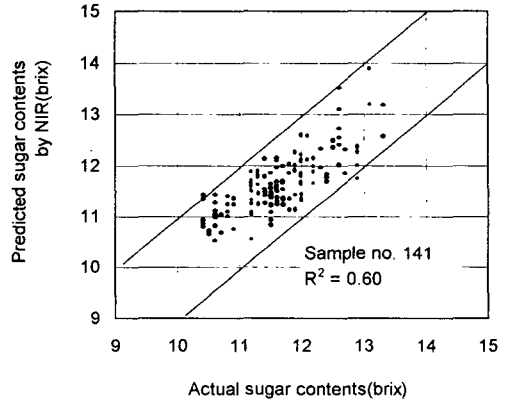


Fig. 10 Calibration model for PLS model II with 11 factors.

(그림 10).

##### (2) 모델의 검증

모델 개발시에 포함되지 않은 143개의 시료를 이용하여 PLS 모델 II의 예측성능을 검증한 결과,  $R^2$ 와 SEP는 그림 11에 나타난 바와 같이 각각 0.47, 0.52로 많은 시료수에 비하여 오차가 크게 나타났다.

#### 라. PLS 모델 III

##### (1) 당도 예측모델 개발

온도와 반사도, 당도를 측정된 모든 시료에 대해 온도순으로 오름차순 정렬한 다음 온도가 낮은 것부터 높은 것까지 155개의 시료를 선별하여 모

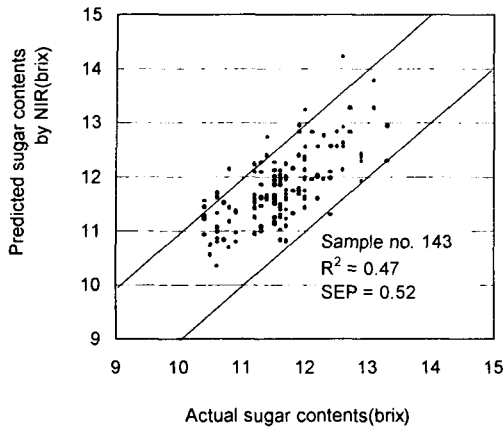


Fig. 11 Prediction results using PLS model II.

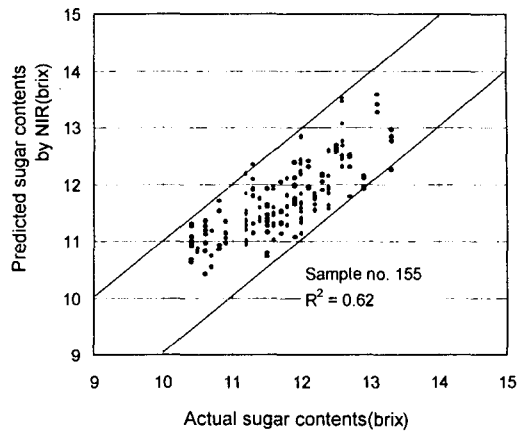


Fig. 13 Calibration model for PLS model III with 10 factors.

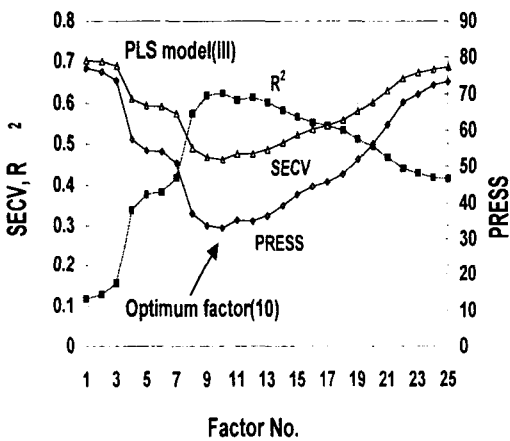


Fig. 12 Changes of SECv, PRESS and  $R^2$  by number of factors in PLS model III.

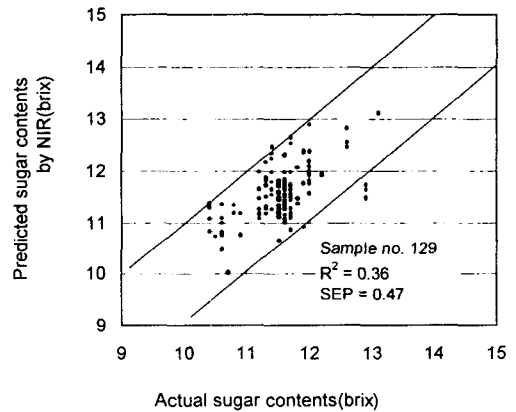


Fig. 14 Prediction results using PLS model III.

델 개발용 시료로서 사용하고, 나머지 129개의 시료는 검증용 미지시료로서 사용하였다. 그림 12에서 보는 바와 같이 최적의 요인수가 10일 때, PRESS와 SECv가 가장 낮았으며, 그림 13에 나타낸 바와 같이  $R^2$ 는 0.62로서 앞의 두 모델보다 약간 높은 결과를 나타냈다.

(2) 모델의 검증

모델 개발시에 포함되지 않았던 129개의 검증용 시료로서 예측정밀도를 조사한 결과는 그림 14에 나타낸 바와 같다.  $R^2$ 값은 0.36으로서 앞의 두 모

델의 0.48과 0.47보다 떨어지지만 SEP의 면에서는 0.47 bx로서 나은 것으로 나타나 정밀도는 높아진 것으로 판단되었다.

시료의 당도범위가 좁은 것을 감안하면 보다 넓은 당도 범위의 시료를 사용하여 모델을 만들면 결정계수값이 더욱 높아질 것으로 판단된다.

마. PLS 모델 IV

(1) 당도 예측모델 개발

당도와 온도를 측정된 순서대로 정렬한 모든 시료에 대해 온도를 변수로서 추가하여 새로운 스펙트럼을 구성한 다음, 절반인 142개의 시료를 모델

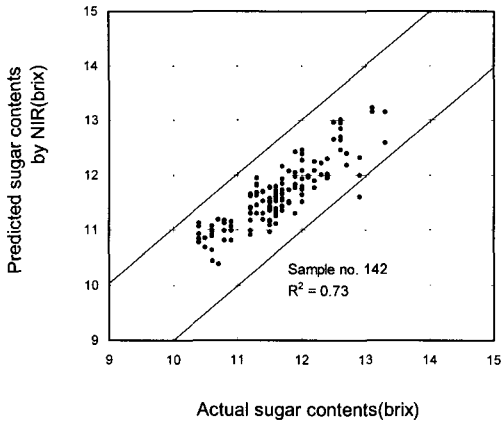


Fig. 15 Calibration model for PLS model IV with 12 factors.

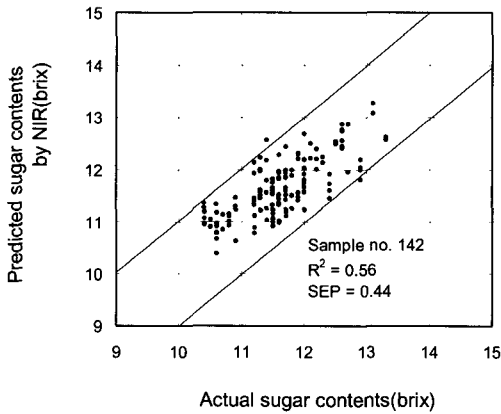


Fig. 16 Prediction results using PLS model IV.

개발용 시료로서 사용하고 나머지 142개의 시료는 검증용 미지시료로서 사용하였다. 최적의 요인수가 12일 때, PRESS와 SECV가 가장 낮았으며, 그림 15에 나타난 바와 같이  $R^2$ 는 0.73, SEC는 0.35 bx로서 온도를 변수로 추가할 때의 효과를 확인할 수 있었다.

(2) 모델의 검증

모델 개발시에 포함되지 않았던 142개의 검증용 시료로서 예측정밀도를 조사한 결과는 그림 16에 나타난 바와 같다.  $R^2$ 값은 0.56, SEP는 0.44 bx로서 모델 개발시보다 정밀도는 떨어지지만 앞에서 개발된 모델보다는 정밀도가 향상된 것으로 판단

되었다.

그러나, 이 모델을 이용하여 실시간 당도 판정 시스템을 개발할 경우 온도를 실시간으로 측정할 수 있는 온도 측정장치를 장착해야 하므로 전반적인 시스템의 가격이 상승할 수 있다.

정밀분석기가 아닌 선별기로 사용하고자 할 때 스펙트럼의 측정만으로도 PLS 모델 II와 III을 이용한 당도의 실시간 예측 및 선별은 가능할 것으로 판단되었다.

4. 결 론

본 연구에서는 과일표면온도가 당도판정을 위한 스펙트럼의 분석에 미치는 영향을 검토하고, 부분최소제곱회귀법을 이용하여 온도에 영향을 받지 않는 범용 당도 판정모델을 개발하였다. 분석에 소요된 파장대역은 654 nm에서 1,052 nm까지로서 2.5 nm 간격의 반사도 데이터를 이용하여 모델을 개발하였다. 모델개발에 있어서 미지 시료에 대한 모델의 적합성을 높이기 위하여 최적요인수는 교차검정법에 의해 PRESS의 값이 최소로 될 때의 값으로 하였다. 이상의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 온도가 14°C인 시료를 이용하여 개발된 PLS 모델 I의 경우, 온도가 다른 시료의 당도예측은 어려운 것으로 판단되었으나, 시료의 온도를 이용하여 당도값을 보상해줄 경우는 예측성능이 개선되었으며, 이는 장치의 개발에도 중요한 요인중에 하나로 작용할 것으로 판단되었다.

2) 온도가 다양한 배 시료를 이용하여 개발된 PLS 모델 II와 PLS 모델 III의 결과, 표면 온도의 영향이 적은 당도 예측모델의 개발가능성을 확인할 수 있었다. 하지만, 이들 모델의 정밀도 향상을 위해서는 모델의 개발에 소요되는 시료를 다양하게 할 필요가 있는 것으로 사료되었다.

3) 예측된 온도를 하나의 변수로 스펙트럼에 추가하여 당도를 예측한 PLS 모델 IV의 경우, 스펙트럼만으로 개발된 다른 모델보다 정밀도가 향상되었으나 시스템의 가격상승을 초래할 것으로 판단되었다.

4) 이상의 결과에서 실시간 온도 측정장치를 장착하지 않고 실용적이고 저렴한 당도 예측시스템의 개발을 위해서는 모델 개발시에 온도에 대한 영향을 줄일 수 있도록 다양한 온도와 당도분포를 가진 시료를 선별할 수 있도록 주의를 요한다고

판단되었다.

### 참 고 문 헌

1. Bellon-Maurel, V., V. Steinmetz and L. Dussere-Bresson. 1996. Nir Applications for Food and Agricultural Product Quality Evaluation. Quality Evaluation of Agricultural Products and Foods using Nondestructive Techniques. 87-111.
2. Chen, J. Y., C. Iyo., S. Kawano and F. Terada. 2000. Development of calibration with sample cell compensation for determining the fat content of unhomogenised raw milk by a simple near infrared transmittance method. J. Near Infrared Spectroscopy 7:265-273.
3. Choi, C. H., K. J. Lee and B. S. Park. 1997. Prediction of soluble solid and firmness in apple by visible/near-infrared spectroscopy. J. of the Korean Society for Agricultural Machinery 22(2): 256-265.(In Korean)
4. David, C. S. 1992. Near Infrared Analysis of Soluble Solids in Peaches. ASAE paper No. 92-7056.
5. Irawan, R. S., Y. Ikeda and T. Nishizu. 1995. Determination of individual sugars and acid content in apple by near infrared reflectance spectroscopy. J. S. A. M. ARBIP95 1:103-108.
6. Kawano, S., H. Abe and M. Iwamoto. 1995. Development of a calibration equation with temperature compensation for determining the Brix value in intact peaches. J. Near Infrared Spectroscopy 3: 211-218.
7. Kawano, S., T. Fujiwara and M. Iwamoto. 1993. Nondestructive determination of sugar content in Satsuma Mandarin using near infrared(NIR) Transmittance. J. Jpn. Soc. Hort. Sci. 62(2):465-470.
8. Lee, K. J., W. R. Hruschka, J. A. Abbott, S. H. Noh and B. S. Park. 1998. Predicting the soluble solids of apples by near infrared spectroscopy(I) - PLS and ANN models -. J. of the Korean Society for Agricultural Machinery 23(6):571-582.
9. Noh, S. H., W. G. Kim and J. W. Lee. 1997. Nondestructive measurement of sugar · acid contents in fruits usng spectral reflectance. J. of the Korean Society for Agricultural Machinery 22(2):247-255.(In Korean).
10. Schaare, P. N. and D. Fraser. 2000. Comparison of reflectance, interactance and transmission modes of visible-near infrared spectroscopy for measuring internal properties of kiwifruit, Postharvest biology and Technology 20:175-184.