

# 표면온도가 다른 신고 배의 비파괴 당도판정

## Nondestructive Determination of Sugar Contents in *Shingo Pear* with Different Temperatures

이강진\*    최규홍\*    오병기\*    최동수\*  
정희원    정희원    정희원    정희원  
K.J. Lee   K.H. Choi   B.K. Oh   D.S. Choi

### 1. 서론

우리 나라에서 배는 사과와 더불어 주요 생산 과실중의 하나로 최근 그 소비가 증대되고 있으며, 다른 과실과 달리 가정 소비용은 물론 선물용으로서 대과를 선호하는 과실로서 1998년 현재 국내 과실류의 총 생산면적 176,000ha 중 배가 차지하는 면적은 약 1/7에 달하는 25,000ha이며, 생산량 면에서는 260,000톤에 달한다.

배의 여러 품종 중에서 가장 많은 재배면적(전국의 85%)을 차지하고 있는 신고 품종의 경우, 중량은 대체로 450g에서 500g정도이며 과형은 원형으로 좌우대칭이고 반듯하여 외관이 좋으나, 소과의 경우 텁은 맛이 있어서 소비자의 선호도가 떨어지는 경향이 있다. 최근 육성된 신품종을 제외한 기존 품종 중 품질이 가장 우수하여 현재 가장 많이 보급되어 있으며, 대외 수출시장에 한국의 대표 과실로 잘 알려져 있다.

지금까지 배의 선별은 주로 중량에 의존하여 왔으며, 색깔이나 내부 당도 등의 판정은 육안에 의한 경험적인 방법과 표본추출에 의한 통계적 방법으로 수행해왔지만, 소비자 인식의 변화 및 대외 수출기준 적합도 등의 면에서 내부 당도 등의 품질판정기술의 요구가 증대되고 있으나 아직 국내에서는 이에 대한 연구가 아직 걸음마단계에 불과하다.

따라서, 본 연구에서는 지금까지 중량 선별에만 의존하고 있는 배의 내부 품질인 당도를 비파괴적으로 판정하기 위하여 근적외선분광분석법을 도입함에 있어, 표면 온도에 따라 당도판정에 미치는 영향을 검토하고 안정적인 당도판정법을 개발하고자 하였다.

### 2. 재료 및 방법

#### 가. 공시재료 및 방법

본 실험의 공시재료는 경기도 화성군에서 생산된 '98년도산 신고 배를 수원시 권선동 소재 농산물 도매시장에서 구매하여 저온저장고에 3일간 저장한 후 사용하였다.

온도의 측정은 비접촉식 적외선 온도계(Yokogawa 530, Japan)를 사용하였으며, 근적외선 반사스펙트럼은 '98년 농업기계화연구소에서 개발된 비파괴과일당도판정기(이 등, 1998)를 이용하여 초당 3개의 속도로 시료를 이송시키면서, 654nm에서 1052nm까지의 근적외

\* 농촌진흥청 농업기계화연구소

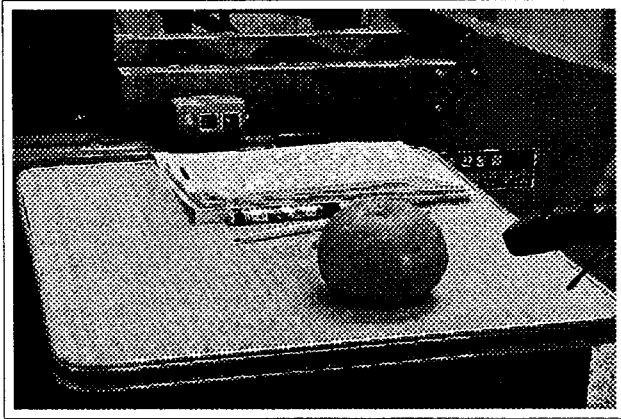


Fig. 1 Temperature measurement of *shingo* pear

이용한 경우, 2) 온도가 가장 낮은 1회와 가장 높은 4회의 시료 141개를 이용한 경우, 3) 전 시료를 온도에 따라 정렬한 다음 총 284개의 스펙트럼 중 155개를 이용한 경우 등 총 3 가지 경우에 대해 부분최소제곱회귀법(Partial Least Square Regression)으로 당도판정모델을 개발하고 나머지 시료를 미지시료로서 앞에서 개발한 모델에 대한 적합성을 검토하였다.

#### 나. PLS 모델개발조건

##### (1) 최적 파장대역의 선정

먼저, 당도판정을 위한 모델개발에 소요되는 최적 파장을 선정하기 위하여, 표 1에 나타낸 바와 같이 원래의 반사스펙트럼과 gap을 10nm, 20nm, 30nm로 한 1차 미분 및, 2차 미분 반사스펙트럼에 대하여 654~1052nm의 전파장대역, 전파장을 반분한 654~853nm 및 854~1052nm 파장대역 등, 총 3 영역의 파장대역에 대하여 각각 원래스펙트럼의 경우, Mean-Centering처리를 한 경우 및 다분산 보정을 한 경우를 조합하여 PLS 분석을 실시하

선을 시료의 적도면에 조사한 후 이 때 반사되어 나오는 반사광의 세기를 측정하였다. 또한 배 당도는 굴절당도계(Atago, Japan)를 사용하여 당도를 측정하였다.

실험에 사용된 배는 총 71개였고, 저온저장고에서 꺼내어 상온에 두었을 때 나타나는 최저 온도 2°C에서부터 17°C가 될 때까지 총 4회 반복 시험하였다. 당도판정모델 개발용 시료로서는 1) 가장 많은 온도 분포를 나타낸 14°C의 시료 51개를

Table 1. Selection of optimal wavelength for sugar contents

Wavelength range(nm)	skip(nm)	Preprocessing(reflectance)						
		Raw	1st derivative			2nd derivative		
			gap 10nm	20nm	30nm	10nm	20nm	30nm
654 ~ 853	2.5	1. None 2. Data preparation : Mean-Centering 3. Multiplicative Scattering Compensation						
	5							
	7.5							
854 ~ 1052	2.5							
	5							
	7.5							
654 ~ 1052	2.5							
	5							
	7.5							

었다. 또한, 위 모든 경우를 반사스펙트럼에서 각각 2.5nm, 5nm, 7.5nm씩 간격을 두고 추출한 값에 대하여 수행되었다. PLS 분석에는 Grams/32(Galactic co, U.S.A.)를 이용하였다.

예비분석결과, 가장 우수한 방법은 전과장범위에서 반사스펙트럼에 아무런 전처리를 하지 않은 상태에서 2.5nm간격으로 추출한 경우로 나타나, 본 연구에서는 이 방법을 이용하였다. 당도판정에 적합한 PLS모델을 개발함에 있어서, 최적의 요인수의 선정은 교차검정법을 이용하여 요인수를 증가시킴에 따라 PRESS가 최저로 되는 지점에서의 요인수로서 결정하였다.

(2) 최적 모델 개발을 위한 시료 선발

일반적으로 대형선과장에서 선과되는 과실은 저온 저장고를 거치는 경우가 많으며, 이 때 과실의 표면온도는 저장고 내의 온도와 평형되어 낮은 온도를 유지하게 된다. 따

라서 선과중에 과실은 상온에 놓이게 되어 온도가 상승하게 되므로 본 연구에서는 이와 같은 상황을 가정하였다. 즉 저장고 내에서 사흘동안 저장된 배를 실험을 위해 처음 내놓았을 때의 온도는 최소 2℃에서 11℃까지 그 온도 편차가 많았다. 이를 여러 시간동안 실험실내 상온에서 두었을 경우 그림 2에 나타낸 바와 같이 시간이 지남에 따라 온도는 상승하게 되는데, 이 때 온도와 반사스펙트럼을 4회 반복하여 측정하였다.

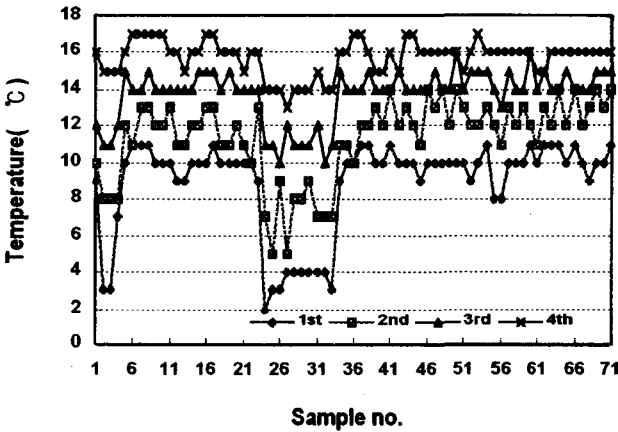


Fig. 2 Changes of sample surface temperature.

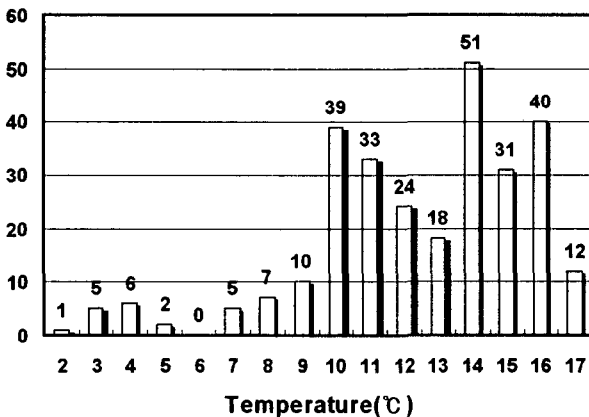


Fig. 3 Distribution of sample surface temperature.

저장고에서 꺼내었을 때 측정된 가장 낮은 온도는 2℃이었으며, 4시간여가 지난 다음의 시료표면의 온도는 거의 17℃에 도달하였다.

4회 반복 측정하는 동안의 시료를 온도별로 그림 3에 나타내었다. 가장 많은 온도를 나타낸 것은 14℃로서 총 284개 중 51개였다.

본 연구에서는 시료 선발의 첫 번째 경우로서 표면온도가 14℃일 때 측정된 51개의 반사스펙트럼중

44개를 PLS 모델 개발용으로 사용하고 나머지를 모델 검증용 미지시료로 사용하였다(PLS 모델(I)).

두 번째 경우는 4회 반복시험 중 온도가 가장 낮은 1회와 가장 높은 4회의 시료 141개를 모델 개발용으로 사용하고, 나머지 143개를 검증용으로 사용하였다(PLS 모델(II)).

세 번째로는 당도별로 골고루 모델개발에 사용하기 위하여 155개의 시료를 온도에 상관 없이 선택하여 모델 개발용으로, 나머지 129개를 검증용으로 사용하였다(PLS 모델(III)).

### 3. 결과 및 고찰

#### 가. 온도별 스펙트럼

저장중인 배를 상온에 방치하면서 온도의 상승에 따른 스펙트럼을 측정된 결과는 그림 4에 나타낸 바와 같다. 이송중의 진동의 영향이나 놓인 자세에 대한 영향을 무시하긴

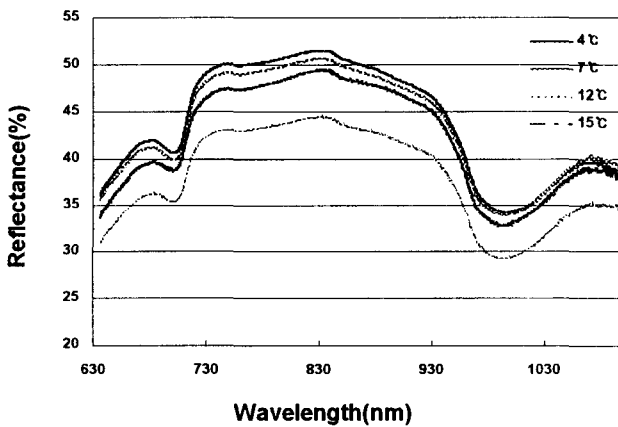


Fig. 4 Reflectance by temperature in a sample.

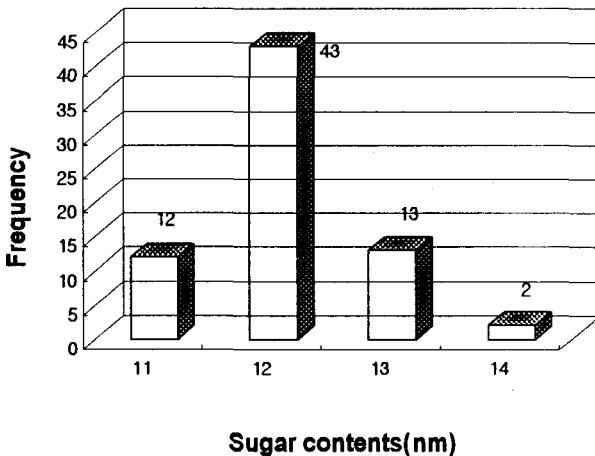


Fig. 5 Frequency of sugar contents in pears.

힘들겠지만 대체로 온도가 낮을수록 반사도는 증가하는 것으로 나타났다. 4°C 나 7°C일 때가 12°C나 15°C일 때보다 높은 반사도를 나타내 이는 당도예측모델에도 영향을 줄 것으로 판단된다.

#### 나. 공시재료의 당도

시험에 사용된 공시재료인 신고 배는 전년도인 1998년 가을에 수확되어 장기간 저장된 것으로서 굴절당도계로 측정된 결과는 그림 5에 나타낸 바와 같이 최저 10.3 brix에서 최고 13.3 brix로 약 3brix의 범위에 불과하였다. 수확기의 배의 당도가 7, 8brix에서 16brix까지 나오는 것을 감안하면 저장중의 당도 변화가 많았던 것을 알 수 있다. 가장 많은 당도값을 나타낸 것은 11brix와 12brix 사이로서 시료의 절반이상이 분포하였다.

#### 다. PLS 모델 I

##### (1) 당도예측모델 개발

가장 많은 온도를 나타낸 14°C의 시료 51개를 이용하여 654nm에서 1052nm까지 2.5nm간격으로 획득한 반사스펙트럼을 이용하여 PLS 모델을 개발할 경우의 최적 요인수는 그림 6에서 보는 바와 같

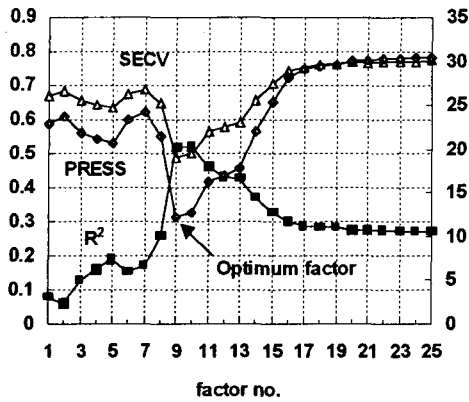


Fig. 6 Changes of SECV, PRESS and  $R^2$  by number of factors in PLS model I.

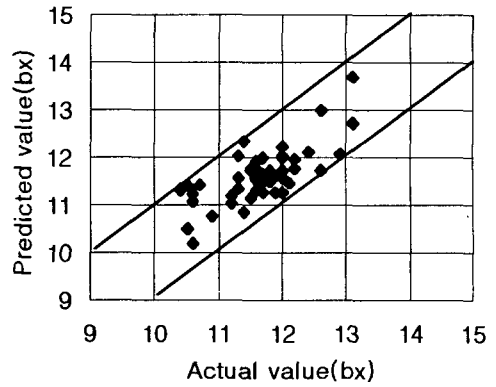


Fig. 7 Calibration model which has 9 factors.

이 9개였으며, 이 때의 결정계수와 SECV는 그림 7에서 나타난 바와같이 각각 0.52, 0.49이었다.

### (2) 모델 검증

모델 개발시에 포함되지 않은 223개의 시료를 이용하여 앞에서 개발된 PLS 모델 I의 예측성능을 검증한 결과는 그림 8과 같다.

예측에 사용된 시료는 온도가 다양한 분포를 하므로 온도별로 각각의 시료에 대해 선형 회귀를 한 결과 당도 12bx기준으로 보았을 때, 대체적으로 시료의 온도가 14°C보다 높을 경우

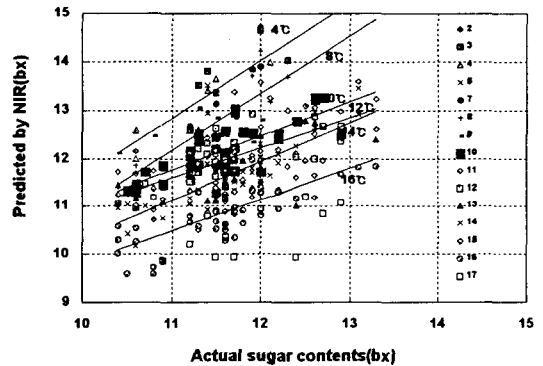


Fig. 8 Results of prediction unknown samples using PLS model I.

는 1°C 높을 때마다 예측치는 0.45bx 낮게 나타났으며, 시료의 온도가 14°C보다 낮을 때는 0.14bx 낮게 예측하고 있음을 알 수 있었다.

### (3) 온도의 보상

(2)의 결과에서 나타난 온도의 영향을 보상하여 그림 9에 나타내었다. 이 때의 SEP는 온도 보상전의 0.89bx에서 0.52bx로 낮아지고,  $R^2$ 는 0.19에서 0.48로 증대되어 온도 보상의 효과가 있음이 확인되었다.

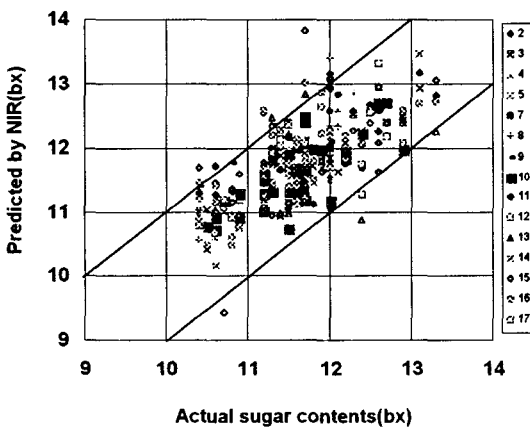


Fig. 9 Results of prediction unknown samples using PLS model I after temperature compensation.

라. PLS 모델 II

(1) 당도예측모델 개발

시료의 온도범위면에서 보면, 저장고에서 시료를 꺼내었을 때의 첫번째 시료와 이를 상온에서 4시간정도 지난 후의 시료가 가장 넓다. 따라서 PLS 모델 II에서는 1회에 측정된 시료와 마지막 4회에 측정된 시료 141개를 이용하여 모델개발에 이용했다. 사용한 파장대역은 모델 I에서와 같다.

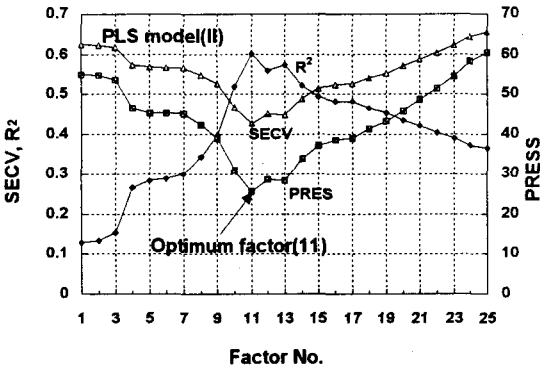


Fig. 10 Changes of SECV, PRESS and  $R^2$  by number of factors in PLS model II.

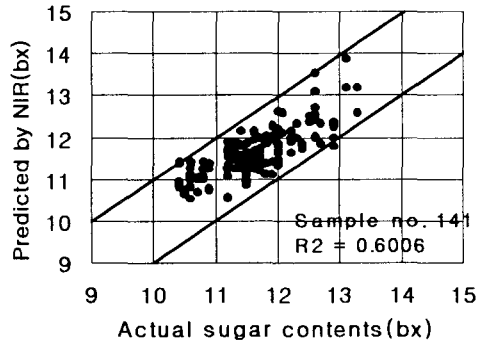


Fig. 11 Calibration model which has 11 factors.

이 PLS 모델 II에서 최적요인수는 그림 10에서와 같이 PRESS와 SECV가 최소가 되는 지점에서의 11개로 결정하였으며, 이 때의  $R^2$ 는 0.6, SECV는 0.43이었다(그림 11).

(2) 모델의 검증

모델 개발시에 포함되지 않은 143개의 시료를 이용하여 PLS 모델 II의 예측성능을 검증한 결과,  $R^2$ 와 SEP는 그림 12에 나타난 바와 같이 각각 0.47, 0.52로 나타났으며, 시료수를 증대시키고 다양한 온도의 시료를 투입하여 많은 모델로서는 오차가 큰 것으로 판단되었다.

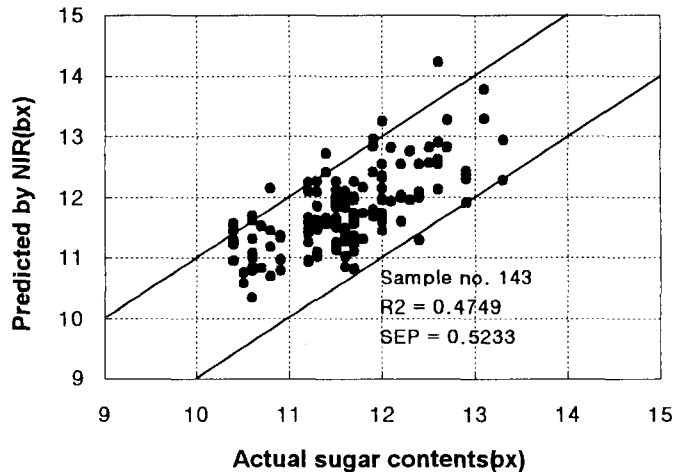


Fig. 12 Results of prediction unknown samples using PLS model II.

마. PLS 모델 III

(1) 당도예측모델 개발

온도와 반사도, 당도를 측정된 모든 시료에 대해 온도순으로 오름차순 정렬한 다음 온도가 낮은 것부터 높은 것까지 155개의 시료를 선별하여 모델 개발용 시료로서 사용하고, 나머지 129개의 시료는

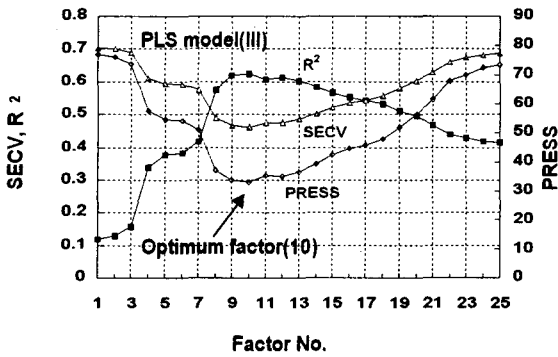


Fig. 13 Changes of SECv, PRESS and  $R^2$  by number of factors in PLS model III.

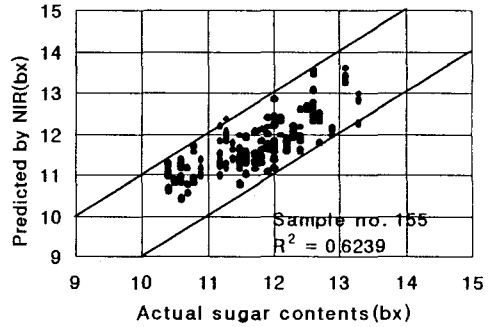


Fig. 14 Calibration model which has 11 factors.

검증용 미지시료로서 사용하였다. 그림 13에서 보는 바와 같이 최적의 요인수가 10일 때, PRESS와 SECv가 가장 낮았으며, 그림 14에 나타난 바와 같이  $R^2$ 는 0.62로서 앞의 두 모델보다 약간 높은 결과를 나타냈다.

#### (2) 모델의 검증

모델개발시에 포함되지 않았던 129개의 검증용 시료로서 예측정밀도를 조사한 결과는 그림 15에 나타난 바와 같다.  $R^2$ 값은 0.36으로서 앞의 두 모델의 0.48과 0.47보다 떨어지지만 SEP의 면에서는 0.47bx로서 나온 것으로 나타난 나름대로의 정밀도는 확보하고 있는 것으로 판단되었다.

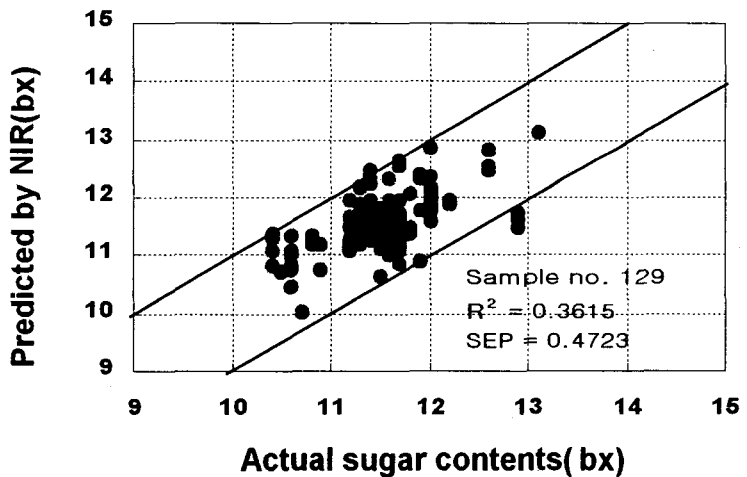


Fig. 15 Results of prediction unknown samples using PLS model III.

시료의 당도범위가 좁은 것을 감안하면 결정계수값은 낮게 나올 수 있으며, SEP면에서 볼 때의 모델 적합성은 있지만, 금후 이의 보완실험이 요구되는 것으로 판단된다.

#### 4. 요약 및 결론

본 연구는 과일표면온도가 당도판정을 위한 스펙트럼의 분석에 미치는 영향을 검토하고, 온도에 영향을 받지 않는 범용 당도판정모델을 개발하기 위하여 부분최소제곱회귀법을 도입

하였다. 분석에 소요된 파장대역은 654nm에서 1052nm까지로서 2.5nm 간격으로 반사도를 이용하였으며, 모델개발에 있어서 미지 시료에 대한 모델의 적합성을 높이기 위하여 최적의 인수는 교차검정법에 의해 PRESS의 값이 최소로 될 때의 값으로 하였다. 이상의 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 가. 저장고에 저장된 신고 배 71개를 상온에 두고 온도를 측정된 다음, 이 때의 반사스펙트럼을 측정하였다. 반사스펙트럼은 654nm에서 1052nm까지의 파장대역에서 시료를 초당 3개의 속도로 이송시키면서 실시간으로 획득함에 있어 2<sup>o</sup>3<sup>o</sup>C에서 17<sup>o</sup>C까지 상승할 때까지 1시간 여의 간격을 두고 4회 반복하여 스펙트럼 284개를 획득하였다.
- 나. 측정된 반사스펙트럼의 당도판정모델을 개발하기 위한 시료로는 측정된 온도가 가장 많았던 14<sup>o</sup>C 시료 51개로 한 경우, 온도가 가장 낮은 1회와 가장 높은 4회의 시료 141개로 한 경우, 그리고 온도별로 고르게 분포하도록 한 155개 시료의 세 가지 경우로 설정하였으며, 이 때 모델개발에 소요되지 않은 시료는 미지시료로서 모델 검증용으로 사용하여 모델의 적합성을 검증하였다.
- 다. 온도가 14<sup>o</sup>C인 시료를 이용하여 개발된 PLS 모델 I의 경우, 온도가 다른 시료의 당도예측은 어려운 것으로 판단되었으나, 시료의 온도를 이용하여 당도값을 보상해줄 경우는 예측성능이 양호해짐을 알 수 있었으며, 이는 장치의 개발에도 중요한 요인중에 하나로 작용할 것으로 판단된다.
- 라. 온도가 다양한 시료를 이용한 PLS 모델 II와 PLS 모델 III의 경우는 온도의 보상은 필요 없지만, 모델의 개발에 소요되는 시료를 다양하게 함으로서 정밀도를 향상시킬 수 있을 것으로 기대되며 두 모델모두 온도와 무관한 당도예측모델의 개발가능성을 확인해 주었다. 그러나, 금후 실용적인 당도예측모델의 개발을 위해서는 온도에 대한 영향을 줄일 수 있도록 시료를 선별하는데 주의를 요한다고 사료된다.

## 5. 참고문헌

1. 김우기. 1997. 분광반사특성을 이용한 주요 과실의 비파괴 당·산도 측정. 서울대학교 대학원 석사학위논문.
2. 이강진의 4인. 1998. 근적외선을 이용한 사과의 당도예측(II) - 부분최소제곱 및 인공 신경회로망 모델 -. 한국농업기계학회지 23(6):571-582.
3. 이강진의 4인. 1998. 근적외선을 이용한 과일 비파괴 품질판정기술 개발, 농업기계화연구소 시험연구보고서
4. 최창현외 2인. 1997. 가시광선/근적외선 분광분석법을 이용한 사과의 당도 및 경도 측정. 한국농업기계학회지 22(1):200-205.
5. Williams, P. and K. Norris. 1987. Near-Infrared Technology in the Agricultural and Food Industries. American Association of Cereal Chemist Inc., St. Paul, MN.