

## 단감의 당도예측모델 개발에 관한 연구

손재룡 이강진 강석원 김기영 양길모 모창연 서영욱

### Development of Prediction Models for Nondestructive Measurement of Sugar Content in Sweet Persimmon

J. R. Son K. J. Lee S. Kang G. Kim G. M. Yang C. Y. Mo Y. Seo

#### Abstract

This study was performed to develop a nondestructive determination technology for sugar content in sweet persimmons, and the main research results included the following. In order to determine sugar content in sweet persimmons, a dual side reflex was adopted, and the study was to measure sugar content using a reflectance spectrum for 2 parts because it was difficult to determine representative sugar content due to a great deviation in sugar content according to the part of sweet persimmons. To predict sugar contents of sweet persimmon, PLSR and PCR models were compared with a few preprocess methods. As a result, PLSR had  $R^2=0.67$ ,  $SEP=0.42$  brix,  $LV=11$ , and PCR had  $R^2=0.65$ ,  $SEP=0.41$  brix,  $PC=16$ . SNV method was the best among preprocess methods for predicting sugar contents.

**Keywords** : Sweet persimmon, Sugar content, Partial least squares(PLS) regression, Principal component regression(PCR), Spectroscopy

#### 1. 서론

감(*Diospyros kaki*)은 국내외에서 생산량과 소비량이 매년 증가하는 국제적인 과실로 부상하고 있으며(Kang, 1999), 크게 단감(*Diospyros kaki* L)과 짧은 감(*Diospyros kaki* T)으로 분류된다. 단감은 비타민과 무기질 및 감미가 강하여 생식으로 널리 이용된다(Kim et al., 2008).

최근의 과실 소비 형태는 비싸도 좋은 품질을 구매하겠다는 의향이 34%(2006년 기준)로서, 이는 '03년 대비 2 배 이상 증가한 수치이며 고품질 농산물에 대한 소비자의 수요가 지속적인 증가세에 있다고 할 수 있다(Choi, 2006). 이와 같이 소비자의 구매패턴 변화에 발맞춰 고품질 농산물을 유통시키는 것은 소비자의 만족도 제고에 기여할 수 있으며, 특히 비파괴 당도 선별된 과실은 일반 상품에 비해 10% 이상의

높은 가격을 형성하고 있어 농가소득 향상에도 직접적으로 관련이 있다.

과실을 비파괴적으로 품질을 판정하기 위한 시도는 근적외선 분광분석에 의해 많이 이루어 졌으며(Kawano, 1994; Vegard et al., 2005; Cozzolino et al., 2006; Son et al., 2008), 그 결과 사과, 배, 복숭아, 감귤, 참외, 수박, 메론 등의 과일 및 과채류에 대한 내외부 품질을 비파괴적으로 판정하는 선별기의 보급이 산지유통센터를 중심으로 많이 이루어지게 되었다.

광을 이용한 스펙트럼 분석에 사용되는 파장대역은 가시광 대역인 400-700 nm와 근적외대역인 700-1,100 nm 을 주로 사용하게 된다. 이것은 상용으로 사용되는 CCD 칩이 실시간 측정에 사용가능한 가격과 성능을 갖추었기 때문이다 (Greensill and Walsh, 2000). 이와 같은 기술의 발전은 과실

The article was submitted for publication on 2009-04-07, reviewed on 2009-05-27, and approved for publication by editorial board of KSAM on 2009-06-10. The authors are Jae Ryong Son, Researcher, KSAM member, Kang Jin Lee, Senior Researcher, KSAM member, Sukwon Kang, Researcher, KSAM member, Giyoung Kim, Senior Researcher, KSAM member, Gil Mo Yang, Researcher, KSAM member, Chang Yeon Mo, Researcher, KSAM member, Department of Agricultural Engineering, National Academy of Agricultural Science, and Youngwook Seo, Researcher, KSAM member, Department of Biosystems and Biomaterials Science and Engineering, Seoul National University, Seoul, Korea. Corresponding author: Y. Seo, Researcher, Department of Biosystems and Biomaterials Science and Engineering, Seoul National University, Seoul, Korea; E-mail: <oscar815@gmail.com>.

의 비파괴 당도판정을 가능하게 하였으며, 실용적인 선별시스템으로의 기능을 수행할 수 있게 되었다.

가시/근적외선을 이용한 과실의 내부품질판정은 주로 가용성 고형분(soluble solids contents, SSC)(Birth, 1978; Choi et al., 1997)과 산도(acid)의 측정에 이용되었으며(Lammertyne et al., 1998), 과실의 단단함(firmness)이나 속도(maturity)(Choi et al., 1997; Zude-Sasse et al., 2002) 및 내부의 갈변정도(Clark et al., 2003; Kim et al., 2004; Seo et al., 2007)를 측정하는데도 이용되고 있다.

스펙트럼을 이용해서 과실의 내부품질을 측정하기 위해서는 스펙트럼에 포함된 여러 노이즈를 제거하기 위해 전처리를 이용하며, 예측 모델을 개발하기 위해 가장 적합한 전처리를 찾아내는 연구도 진행 중이다(Næs et al., 2004). 이것과 동시에 측정하고자 하는 내부품질을 예측하기 위해 수학과 통계를 이용한 모델을 개발하는데 주로 주성분(principal component, PC)을 이용한 PLS(Wold et al., 2001), PCR등의 회귀분석(Martens and Næs., 1989) 및 신경회로망(Næs et al., 1993; Kim et al., 2000; Coen et al., 2006) 등을 이용하고 있다.

본 연구에서는 고품질 단감의 유통 판매를 위하여 비파괴적으로 단감의 당도를 판정할 수 있는 단감의 당도예측 모델을 개발하고자 수행하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 가. 시험시료

본 실험에 사용한 시료는 품종이 부유인 단감을 2개 지역의 단감 주산지에서 구입한 시료를 사용하였다. 당도판정 시험조건에 따른 시료 수, 당도분포, 스펙트럼 데이터 수 및 생산지 등은 표 1과 같다. 광세기별(조건 1 : 5.5, 6.5, 7.5 A, 조건 2 : 7.5, 8.0, 8.5 A), 이송속도별, 반사스펙트럼 스캔 면적별 등의 시험 조건별로 시료를 준비하였다.

시료는 경남 문산과 산청에서 생산된 단감을 이용하였으며, 동일 시료에 대해 서로 다른 2 부위의 양면 반사스펙트럼을 획득함으로써 스펙트럼 데이터 수는 시료 수의 2배가 된다. 각 시료는 전처리 없이 구입한 그대로 실험에 사용하였으

며, 실시간 당도 판정 후 절단, 착즙하여 당도를 측정한 후 스펙트럼의 예측 값과 비교하였다. 착즙한 당도의 변이를 분석하기 위해 단감은 4쪽으로 절단하였으며, 각 부위별 연속적으로 임의의 『1~4』의 값을 부여하였다. 착즙은 시중 판매되는 믹서기를 이용하여 과즙을 만들었으며, 굴절당도의 측정은 Atago사에서 판매되는 디지털 굴절당도계 PR-32α(Atago co., Tokyo, Japan)를 이용하여 측정하였다.

### 나. 당도판정시스템

반사식 당도판정 시스템은 양면반사 방식을 채택하였으며 스펙트럼 획득을 위한 수광부는 양쪽에서 서로 마주보게 설치하여 단감 양면의 반사스펙트럼을 획득할 수 있도록 하였다(Fig. 1). 광원과 수광 센서는 일체형으로서 동심원 형태의 광원 안쪽에 반사스펙트럼을 획득할 수 있도록 수광 센서를 설치하였다. 분광센서 및 광원장치는 InstaSpec V (Oriol co., Stratford, USA)를 이용하였으며, 근적외선 스펙트럼 획득범위는 630~1,100 nm이었다. 본 연구에서 사용한 광원장치는 볼륨 스위치를 오른쪽으로 돌리면 광세기가 미세하게 증가하도록 구성되어 있으며 또한, 광세기의 변화는 전류 값(Ampere)으로 나타나도록 되어 있다.

컨베이어 이송속도는 최소 300 mm/s에서 최대 600 mm/s의 조절이 가능하게 설계하였고, 광세기의 조절은 5.5~8.5 A까지 변화시키면서 시험하였으며, 근적외선 조사면적에 따른 단감의 당도판정 성능에 미치는 영향을 분석하였다.

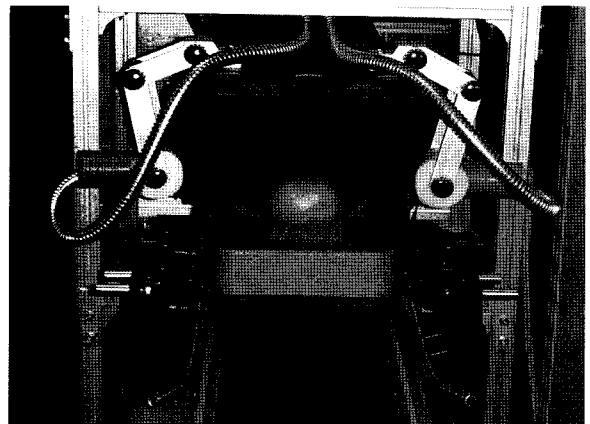


Fig. 1 Reflectance sugar measurement tool.

Table 1 Samples for the various test conditions

Test conditions		Samples (number)	Spectrum Data (number)	Distribution of sugar content (brix)	Producing district
Light intensity	5.5, 6.5, 7.5A	100	200	13.0~16.6	Munsan
	7.5, 8.0, 8.5A	150	300	12.8~16.9	Munsan
Conveying speed		110	220	12.0~16.7	Sanchung
Scan area		200	400	11.7~16.3	Munsan

### 다. 단감의 당도 예측 모델 개발

당도 예측 모델 개발을 위해서 PLSR(partial least square regression), PCR(principle component regression)의 회귀모델을 사용하였으며, SNV(standard normal variate), MSC(mean scattering correction), 1st Derivative, OSC(orthogonal signal correction), Detrending, Savitzky-Golay Smoothing 등의 전처리를 사용하였다. PLSR과 PCR은 공선성의 문제를 줄이기 위하여 주성분(principal component, PC)을 이용하는 공통점이 있다. 반면, 유기물의 흡수파장대역이 겹쳐지면서 측정하고자 하는 분자의 정량 및 정성 분석이 직관적으로는 어렵다. 이런 문제를 해결하기 위해서 위에서 언급한 수학적 전처리를 사용하여 노이즈 제거, 광투과 거리차 제거 등의 문제를 해결한다. 본 연구에서는 위에 언급한 전처리 중 가장 적절한 전처리를 선택하기 위해서 상관계수(R), 예측표준오차(SEP), 모델의 예측 에러 값(PRESS) 등을 이용하였다. 이를 위해 상용의 통계프로그램인 Unscrambler 7.2(Camo co., Oslo, Norway)를 이용하였다. 만들어진 모델에서 예측한 당도 값과 실제 당도 값을 계산한 예측 에러 값인 PRESS(prediction residual error sum of squares)는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$PRESS = \sum_{i=1}^m (C_i^E - C_i)^2$$

where, m is total samples used calibration,  $C_i^E$  is predicted sugar content value, and  $C_i$  is actual sugar content value used calibration  $i^{th}$  while Cross-validation procedure.

단감 시료의 반사 스펙트럼 중 2/3(광세기 조건 1: 200개 중 133개, 조건 2 : 300개 중 200개)를 모델의 calibration에 사용하였고, 나머지 1/3(광세기 조건 1 : 200개 중 67개, 조건 2 : 300개 중 100개)을 이용하여 모델을 검증하는데 이용하였다. 모델의 검증을 위해서는  $R^2$ (결정계수), SEP(예측표준오차)를 사용하였다. 당도판정오차를 나타내는 SEP는 다음의 식으로 구할 수 있다.

$$SEP = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [(y_i - \hat{y}_i) - Bias]^2}{n - 1}}$$

where,  $y_i$  is predicted sugar content value from experimental system, and  $\hat{y}_i$  is actual sugar content value by using refractometer, and

$$Bias = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)}{n}$$

### 3. 결과 및 고찰

단감의 당도를 측정하는 여러 조건 중에서 가장 적합한 스펙트럼 획득방식, 근적외선 강도, 이송속도 및 스캔면적 등의 영향을 분석하였다. 또한, 당도를 예측하기에 적합한 전처리 조건과 회귀식을 비교 분석하였다. 분석에는 재료 및 방법에 언급한 시료와 전처리 방식 및 회귀식을 사용하였다.

#### 가. 단감 당도 측정 시스템 개발

##### 1) 양면 반사스펙트럼 획득 장치의 결정

반사스펙트럼을 획득할 경우 단감의 표피 부위의 당도 데이터가 얻어지기 때문에 반사 스펙트럼에 의한 당도를 판정할 경우 근적외선 조사 부위의 선택이 중요하다. 즉, 단감의 부위를 임의적으로 4 등분해서 각 부위와 표피의 평균당도에 대한 상관관계(R)는 0.78~0.90으로 나타나 1 부위의 당도가 전체를 대표한다고 단정하기 어렵다는 것을 알 수 있었다 (Fig. 2). 따라서 단면 반사스펙트럼을 이용하여 당도측정을 하고자 한다면 어떤 부위의 스펙트럼을 이용하여 당도를 예측하는냐에 따라 실측당도와의 차이가 커질 수 있다.

그러나 그림 3은 표피의 평균당도에 대한 『1-3』부위 및 『2-4』부위의 당도와의 상관관계를 나타낸 것으로서 그 값(R)이 각각 0.97정도로 나타나 마주보는 양쪽 부위의 평균당도는 전체 당도에 근접하는 것을 알 수 있다. 이와 같이 반사식 당도판정시스템을 구축하고자 할 경우 양면 반사식을 이용하면 개체를 대표할 수 있는 당도측정이 가능함을 알 수 있으며, Son et al.(2008)은 양면 반사스펙트럼을 이용하여 포도의 당도를 판정하는 연구를 수행하였으며 현장적용 가능함을 보고하였다.

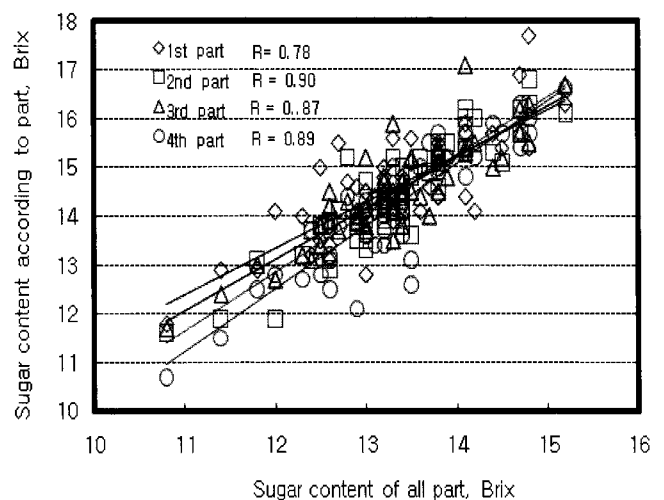


Fig. 2 Correlation between mean sugar in surface of sweet persimmon and each piece of sweet persimmon.

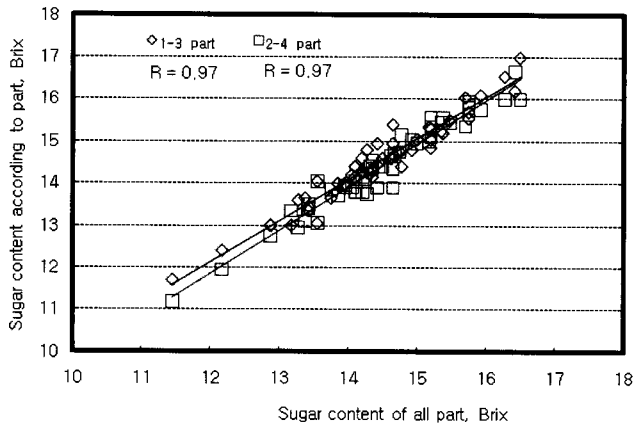


Fig. 3 Correlation between mean sugar in surface of sweet persimmon and two pieces of sweet persimmon.

2) 근적외선 강도에 따른 당도판정 오차

근적외선 강도에 따른 당도판정 성능 시험을 실시한 결과는 그림 4 및 5와 같이 나타났다. 본 시험장치의 근적외선 강도 즉, 광세기는 전류 값(Ampere)으로 나타나며, 5.5 A, 6.5 A, 7.5 A(Fig. 4)와 같이 3 수준으로 조절하면서 시험한 결과 광세기가 가장 약한 5.5 A에서는 0.54 brix(SEP)이었으며 6.5 A에서는 0.48 brix(SEP), 7.5 A에서는 0.43 brix(SEP)로서 광세기가 증가할수록 당도판정 오차가 낮게 나타나는 것을 알 수 있었다.

그림 5는 광세기를 더욱 증가시켜 당도판정에 적합한 광세기의 한계를 보고자 하였다. 시험결과 7.5 A에서 가장 양호한 결과가 나타났으나, 그 이상의 광세기에서도 근적외선 강도가 증가할수록 당도판정 오차가 낮게 나타나는지를 알아보 고자 하였다. 7.5 A에서는 당도판정 오차(SEP)가 0.45 brix 이었으며, 8.0A에서는 0.47 brix, 8.5A에서는 0.45 brix로 나타나 7.5 A 이상에서는 광세기에 따른 당도판정 오차가 낮게 나타난다고 단정하기 어려워 본 시험장치에서의 한계 광세기는 7.5 A인 것으로 판단되었다.

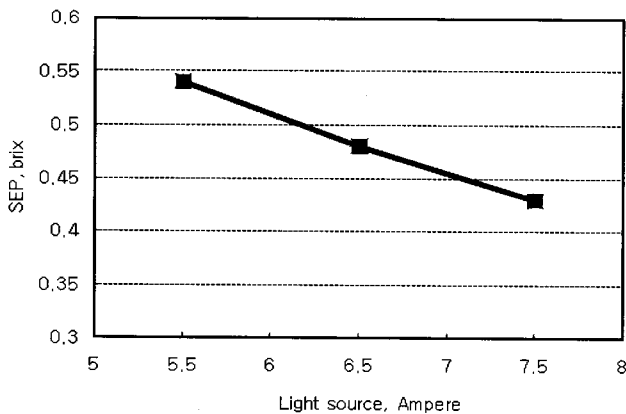


Fig. 4 Correlation between light source intensity (5.5~7.5 Ampere) and SEP.

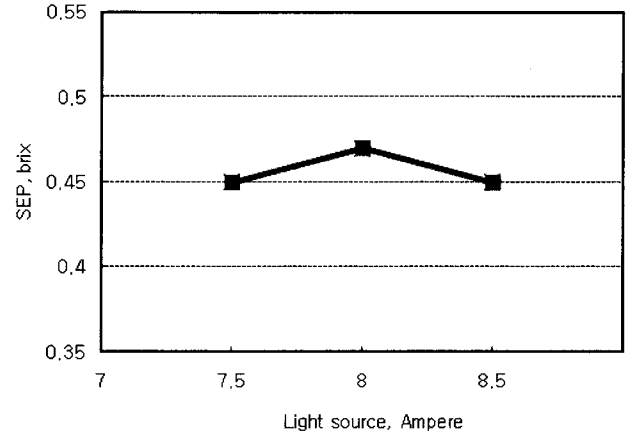


Fig. 5. Correlation between light source intensity (7.5~8.5 Ampere) and SEP.

3) 이송속도에 따른 당도판정 정확도

표 2는 이송속도에 따른 당도판정 성능시험 결과이다. 이송속도는 450 mm/s와 600 mm/s 의 2 수준으로 하였는데 이는 이송 컵의 피치가 150 mm 기준으로 각각 3 개/초, 4 개/초의 처리 성능에 해당하는 속도이다.

이송속도가 증가할수록 당도판정 정확도(SEP)는 0.43 brix에서 0.45 brix로 약간 높아 졌으나 실용성에는 큰 문제가 없는 것으로 나타났다. 즉 3~4 개/초의 이송속도에서 당도판정이 가능함을 알 수 있었다.

Table 2 Correlation between conveyer speed and SEP

Conveying speed (mm/s)	Measurement error (SEP)	Cup per second (pitch : 150 mm)
450	0.43 brix	3 EA/s
600	0.45 brix	4 EA/s

5) 스캔면적(근적외선 조사면적)에 따른 당도판정 정확도

근적외선 조사면적에 따른 당도판정 시험을 실시한 결과 표 3과 같이 스캔면적 32×50 mm에서 가장 양호한 결과가 나타났다. 스캔면적의 설정은 분광센서의 Integral time을 조절하여 설정하였다. 스캔면적이 작으면 시료의 당도 정보를 충분히 얻을 수 없기 때문에 정확도가 떨어지는 것으로 나타났으며, 너무 크면 시료의 크기가 일정치 않기 때문에 당도 정보를 잃어버리는 경우가 발생하기도 하기 때문이다.

Table 3 Correlation between scan area and SEP

Scan area (width×height)	Measurement error (SEP)	
16×50 mm	0.54 brix	
32×50 mm	0.51 brix	
45×50 mm	0.53 brix	

나. 단감의 당도 예측 모델 개발

1) PLSR을 이용한 예측 모델 개발

단감의 당도를 예측하는데 가장 좋은 광세기와 전처리 조건을 찾아내기 위하여 최소자승회귀를 이용하여 예측 모델을 개발한 결과 표 4와같이 나타났다. 광세기별 시험은 2 단계에 걸쳐 실시하였는데 1 단계에서는 5.5, 6.5, 7.5 A의 3 수준으로 하였다. 이 경우 광세기가 5.5 A에서는  $R^2=0.57$ ,  $SEP=0.48$  brix이었으나 7.5 A에서는  $R^2=0.70$ ,  $SEP=0.44$  brix로 나타나 광세기가 증가할수록 당도판정 오차(SEP)가 낮게 나타났다. 한편, 광세기를 더욱 증가시켜서 2 단계인 7.5 A 이상에서의 당도판정 성능을 확인하고자 7.5, 8.0, 8.5 A의 3 수준으로 시험하였다. 7.5 A에서는  $R^2=0.67$ ,  $SEP=0.42$  brix,  $LV=11$ 개로 나타나 8.0 A에서의  $R^2=0.63$ ,  $SEP=0.43$

brix 및 8.5 A에서의  $R^2=0.53$ ,  $SEP=0.45$  brix 등에 비해 가장 양호하게 나타났다.

2) PCR을 이용한 당도 예측 모델 개발

표 5는 PCR을 이용하여 예측당도를 분석한 결과이다. PLSR에서와 같이 2 단계에 걸쳐 시험하였다. 광세기가 5.5 A에서는  $R^2=0.57$ ,  $SEP=0.52$  brix인 반면, 6.5 A에서는  $R^2=0.60$ ,  $SEP=0.44$  brix이었으나, 7.5 A에서는  $R^2=0.64$ ,  $SEP=0.42$  brix로서 광세기가 증가할수록 당도판정 오차가 양호하게 나타났다. 또한 2 단계인 7.5 A이상에서는 광세기가 증가할수록 당도판정 성능이 좋아지는 경향이 뚜렷하지가 않음을 알 수 있었다. SNV로 전처리한 7.5 A에서  $R^2=0.65$ ,  $SEP=0.41$  brix,  $PC=16$ 로 가장 좋은 결과를 보였다.

Table 4 Prediction result of validation using on PLSR with a few preprocesses

Light condition		Value	Pre-Process methods						
			SNV	MSC	1st D	OSC	DT	SM*	X**
1 <sup>st</sup> test	5.5A (n=200)	RC <sup>2</sup>	0.64	0.72	0.65	0.49	0.63	0.58	0.66
		SEC	0.44	0.43	0.46	0.54	0.45	0.46	0.43
		RP <sup>2</sup>	0.52	0.44	0.42	0.28	0.43	0.57	0.48
		SEP	0.50	0.62	0.57	0.56	0.56	0.48	0.57
		LV	10	10	9	8	10	10	9
	6.5A (n=200)	RC <sup>2</sup>	0.68	0.73	0.65	0.54	0.65	0.75	0.69
		SEC	0.44	0.37	0.45	0.53	0.43	0.41	0.43
		RP <sup>2</sup>	0.57	0.53	0.59	0.66	0.52	0.60	0.63
		SEP	0.47	0.53	0.44	0.46	0.52	0.46	0.56
		LV	9	8	10	10	10	11	10
	7.5A (n=200)	RC <sup>2</sup>	0.84	0.81	0.81	0.63	0.81	0.79	0.80
		SEC	0.32	0.34	0.34	0.46	0.33	0.34	0.35
		RP <sup>2</sup>	0.54	0.58	0.70	0.70	0.65	0.61	0.63
		SEP	0.52	0.47	0.46	0.44	0.47	0.44	0.45
		LV	13	13	12	12	12	16	13
2 <sup>nd</sup> test	7.5A (n=300)	RC <sup>2</sup>	0.76	0.73	0.71	0.64	0.71	0.74	0.71
		SEC	0.37	0.38	0.38	0.46	0.41	0.37	0.39
		RP <sup>2</sup>	0.67	0.63	0.57	0.54	0.56	0.55	0.57
		SEP	0.42	0.41	0.46	0.47	0.52	0.49	0.44
		LV	11	11	12	10	13	13	11
	8.0A (n=300)	RC <sup>2</sup>	0.70	0.70	0.72	0.60	0.63	0.69	0.69
		SEC	0.41	0.40	0.41	0.47	0.45	0.42	0.41
		RP <sup>2</sup>	0.63	0.60	0.58	0.59	0.54	0.61	0.55
		SEP	0.43	0.47	0.50	0.43	0.46	0.43	0.47
		LV	10	9	12	10	11	12	11
	8.5A (n=300)	RC <sup>2</sup>	0.75	0.69	0.70	0.71	0.71	0.68	0.71
		SEC	0.37	0.40	0.40	0.34	0.34	0.41	0.41
		RP <sup>2</sup>	0.56	0.54	0.56	0.53	0.56	0.60	0.53
		SEP	0.46	0.48	0.47	0.45	0.49	0.47	0.50
		LV	13	12	14	12	13	12	13

\* SM\* : smoothing, X\*\* : no-preprocess

**Table 5** Prediction result of validation using on PCR with a few preprocesses

Light condition		Value	Pre-Process methods						
			SNV	MSC	1st D	OSC	DT	SM*	X**
1 <sup>st</sup> test	5.5A (n=200)	RC <sup>2</sup>	0.53	0.60	0.47	0.50	0.55	0.61	0.55
		SEC	0.54	0.52	0.57	0.56	0.53	0.49	0.53
		RP <sup>2</sup>	0.51	0.39	0.51	0.57	0.28	0.33	0.41
		SEP	0.61	0.58	0.57	0.57	0.62	0.52	0.57
		PC	19	20	20	14	19	14	15
	6.5A (n=200)	RC <sup>2</sup>	0.69	0.68	0.68	0.61	0.65	0.63	0.63
		SEC	0.47	0.45	0.46	0.51	0.49	0.45	0.45
		RP <sup>2</sup>	0.52	0.60	0.52	0.57	0.51	0.55	0.49
		SEP	0.54	0.44	0.55	0.56	0.53	0.48	0.51
		PC	28	20	27	19	22	16	17
	7.5A (n=200)	RC <sup>2</sup>	0.70	0.72	0.70	0.71	0.74	0.73	0.76
		SEC	0.40	0.43	0.42	0.42	0.44	0.41	0.41
		RP <sup>2</sup>	0.60	0.64	0.66	0.64	0.67	0.62	0.69
		SEP	0.49	0.43	0.46	0.42	0.44	0.50	0.44
		PC	44	26	18	38	21	23	19
2 <sup>nd</sup> test	7.5A (n=300)	RC <sup>2</sup>	0.70	0.71	0.71	0.67	0.68	0.70	0.67
		SEC	0.40	0.42	0.40	0.43	0.42	0.40	0.42
		RP <sup>2</sup>	0.65	0.64	0.51	0.63	0.64	0.56	0.62
		SEP	0.41	0.42	0.50	0.45	0.50	0.51	0.47
		PC	16	25	42	17	20	17	18
	8.0A (n=300)	RC <sup>2</sup>	0.71	0.72	0.69	0.60	0.68	0.71	0.71
		SEC	0.40	0.39	0.43	0.45	0.42	0.39	0.40
		RP <sup>2</sup>	0.60	0.51	0.47	0.52	0.45	0.67	0.56
		SEP	0.45	0.50	0.52	0.46	0.54	0.41	0.48
		PC	25	23	20	19	17	15	13
	8.5A (n=300)	RC <sup>2</sup>	0.64	0.70	0.68	0.64	0.66	0.63	0.70
		SEC	0.42	0.39	0.42	0.44	0.44	0.42	0.41
		RP <sup>2</sup>	0.47	0.53	0.65	0.58	0.62	0.50	0.56
		SEP	0.51	0.53	0.43	0.51	0.45	0.50	0.50
		PC	22	17	25	15	16	17	17

\* SM\* : smoothing, X\*\* : no-preprocess

#### 4. 요약 및 결론

단감의 당도를 NIR 반사 스펙트럼을 이용하여 비파괴적으로 예측할 수 있는 모델을 개발하고 실측한 당도와 비교하였다. 당도 측정 시스템의 경우 양방향 반사방식을 사용하였으며, 이송속도는 초당 3개(450 mm/s) 또는 초당 4개(600 mm/s)를 처리할 수 있는지를 검토하였으며, 이는 기존 전자식 중량선별기 등의 이송속도와 유사한 속도로서 실용성을 검토하기 위함이다. 한편, 근적외선스펙트럼에 포함된 노이즈를 제거하기 위해 여러 가지 전처리를 비교하면서 가장 적합한 전처리 방식을 찾아보았으며, 당도 예측 모델은 PLSR

과 PCR 등의 회귀모델을 사용하여 개발하였다. 주요연구 결과는 다음과 같다.

- (1) 단감의 부위별 당도와 표피 전체의 평균당도와의 상관관계(R)는 0.78~0.90으로 나타나 1 부위의 당도가 전체를 대표하지 못하였으나, 표피의 평균당도에 대한 『1-3』부위 및 『2-4』부위의 당도와의 상관관계는(R)는 각각 0.97정도로 나타나 마주보는 양쪽 부위의 평균당도는 전체 당도에 근접하는 것을 알 수 있었다.
- (2) 근적외선 강도에 따른 당도판정 성능 시험을 실시한 결과, 5.5 A에서는 0.54 brix(SEP)이었으며 6.5A에서

는 0.48 brix(SEP), 7.5A에서는 0.43 brix(SEP)로서 광 세기가 증가할수록 당도판정 오차가 낮게 나타나는 것을 알 수 있었다. 광세기를 더욱 증가시켜 8.5 A까지 시험한 결과 더 이상의 성능은 향상되지 않아 본 시스템에서는 7.5 A가 적절한 광세기인 것으로 판단되었다.

- (3) 전처리 없이 이송속도에 따른 당도판정 성능시험 결과 이송속도가 증가할수록 당도판정 오차(SEP)는 0.43 brix에서 0.45 brix로 약간 높아 졌으나 실용성에는 큰 문제가 없는 것으로 판단되었다.
- (4) 근적외선 조사면적에 따른 당도판정 성능은 스캔면적 32×50 mm에서 가장 양호한 결과가 나타났다.
- (5) 최적인 당도판정 모델을 개발하기 위하여 PLS와 PCR을 이용하였으며, 두 회귀식 모두에서 가장 좋은 결과는 OSC 및 SNV로 전처리를 한 경우였다. 광세기의 조건이 가장 좋은 경우는 7.5A였으며 이때 PLSR의 결과는 SNV 전처리에서  $R_c^2=0.67$ , SEP=0.42 brix, LV=11으로 나타났다. 한편, PCR의 경우는 SNV 전처리에서  $R_p^2=0.65$ , SEP=0.41 brix, PC=16의 결과를 보였다.

## 참 고 문 헌

1. Birth, G. S. 1978. Non destructive quality evaluation of agricultural products-introduction. *Journal of Food Protection* 41: 48-49.
2. Choi, C. H., K. J. Lee and B. S. Park. 1997. Prediction of soluble solid and firmness in apple using Vis/NIR-infrared spectroscopy. *Journal of Biosystems Engineering* 22(2): 256-265.
3. Choi, J. S. 2006. *Agricultural outlook 2006*. Korea Rural Economic Institute, Seoul, Korea.
4. Clark, C. J., V. A. McGlone and R. B. Jordan. 2003. Detection of brownheart in 'Braeburn' apple by transmittance NIR spectroscopy. *Postharvest Biology and Technology* 28:87-96
5. Coen, T., W. Saeys, H. Ramon and J. De Baerdemaeker. 2006. Optimizing the tuning parameters of least squares support vector machines regression for NIR spectra. *Journal of Chemometrics* 20:184-192.
6. Cozzolino, D., R. G. Damberg, L. Janik, W. U. Cynkar and M. Gishen. 2006. Analysis of grapes and wine by near infrared spectroscopy. *Journal of Near Infrared Spectroscopy* 14: 279-289.
7. Greenshill, C. V. and K. B. Walsh. 2000. A remote acceptance probe and illumination configuration for spectral assessment of internal attributes of intact fruit. *Measurement Science Technology* 11(12):1674-1684.
8. Kang, C. K. 1999. A historical study on fruits in Korea. *Korean Journal of Dietary Culture* 5:301-312.
9. Kawano, S. 1994. Non destructive NIR quality evaluation of fruits and vegetables in Japan. *NIR news* 5(6):10-12.
10. Kim, G., K. Lee, J. Son, D. Choi and S. Kang. 2004. Defect and ripeness inspection of citrus using NIR transmission spectrum. *Key Engineering Material* 270-273:1018-1013.
11. Kim, I. S. S. K. Jin and C. J. Ha. 2008. Improved quality properties of low-fat meat patties containing sweet persimmon powder during freeze storage. *Korean Journal of Food Science Animal Resource* 28(2):113-121.
12. Kim, J., A. Mowat, P. Poole and N. Kasabov. 2000. Linear and non-linear pattern recognition models for classification of fruit from visible-near infrared spectra. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems* 51:201-216.
13. Lammertyn, J., B. Nicolai, K. Ooms, V. De Smedt and J. De Baerdemaeker. 1998. Non-destructive measurement of acidity, soluble solids, and firmness of Jonagold apples using NIR spectroscopy. *Transaction of the ASAE* 41:1089-1094.
14. Martens, H. and T. Næs. 1989. *Multivariate Calibration*, JOHN WILEY & SONS, Chichester, UK.
15. Næs, T., T. Isaksson, T. Fearn and T. Davies. 2004. *A user-friendly guide to multivariate calibration and classification*. NIR publications, Charlton, Chichester, UK.
16. Næs, T., K. Kvaal, T. Isaksson and C. Miller. 1993. Artificial neural networks in multivariate calibration. *Journal of Near Infrared Spectroscopy* 1:1-11.
17. Son, J. R., K. J. Lee, S. Kang and W. K. Choi. 2008. Quality evaluation of sugar contents for grapes using NIR spectroscopy. *Journal of Food Engineering Progress* 12(4):263-268.
18. Seo, Y., K. J. Lee and S. H. Noh. 2007. Study for nondestructive detection algorithm development of the internal browning and watercore of fuji apple using VIS/NIR transmittance spectroscopy. *Journal of Food Engineering Progress* 11(1): 38-44.
19. Vegard, H. B. H. M. Segtnan, I. Tomas and N. Tormod. 2005. Low-cost approaches to robust temperature compensation in near-infrared calibration and prediction situations. *Applied Spectroscopy* 59(6):816-825.
20. Wold, S., M. Sjöström and L. Eriksson. 2001. PLS-regression : a basic tool of chemometrics. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems* 58:109-130.
21. Zude-Sasse, M., I. Truppel. and B. Herold. 2002, An approach to non-destructive apple chlorophyll determination. *Postharvest Biology and Technology* 25(2):123-133.