

분광특성을 이용한 완숙 토마토의 당도예측 알고리즘 개발

Development of an algorithm to predict sugar content of riped tomato using spectrometric property

서 상 룡*	김 영 태*	유 수 남*	최 영 수*	김 향 오*
정회원	정회원	정회원	정회원	정회원
S. R. Suh	Y. T. Kim	S. N. Yoo	Y. S. Choi	H. O. Kim

1. 서 론

우리나라의 토마토는 수박, 참외, 딸기, 오이와 함께 주요 과채류로 자리 잡고 있어 향후 그 수요는 빠른 속도로 증가할 것으로 예상되고 있다. 상품성과 관계가 있는 과채류의 품질은 우수한 정도와 특성을 나타내는 것으로 매우 주관적이다. 품질평가는 인간의 경험적 판단에 의한 육안검사나 표본에 의한 파괴검사로 어느 정도 가능하다. 그러나 육안이나 표본에 의한 검사는 소비자의 기호도에 큰 영향을 미치는 맛, 신선도, 외관을 고려한 선별 시 전체 과일에 동일하게 적용할 수 없고, 대량의 수확물을 선별할 경우 신선도를 떨어뜨리는 단점이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 과일의 비파괴적인 방법에 의한 기준을 균일하게 적용하여 신속한 선별을 할 수 있는 방법이 필요하다. 최근 과채류의 품질평가는 색, 크기, 무게, 모양 및 결함과 같은 외부요소와 맛과 수분함유량, 내부 결함등의 내부 요소를 동시에 분석한다. 국내외적으로 자동화와 더불어 비파괴 품질평가 기술개발이 활발히 진행되어지고 있다. NIR의 반사 또는 투과 특성을 이용한 과일의 경도와 당도 측정에 관한 최근의 연구는 사과(Lu와 Ariana, 2002, Park 등, 2003; Lu, 2003), 앵두(Lu, 2001), 레몬의 일종인 lime(Greensill과 Newman, 2001) 등의 다양한 과일을 대상으로 수행되었으며, 동시에 단순 구조의 NIR 응용 장치 개발과 성능실험(Greensill과 Newman, 2001; Miller와 Zude, 2002)에 관한 연구가 수행되고 있다.

본 연구는 완숙 토마토를 비파괴적인 방법인 spectrometer 장비를 이용하여 당도에 따라 자동으로 토마토를 분류하는 시스템을 개발하기 위한 기초연구로 분광특성에 따른 당도 예측 알고리즘을 개발하는데 그 목적이 있다.

2. 재료 및 방법

가. 공시 재료

토마토의 분광특성을 측정하기 위하여 전남 장성군 남면에 위치한 토마토 농가의 초복과위종의 토마토 20개를 대상으로 분광특성 및 당도를 측정했다.

나. 실험 장치

반사광의 측정하기 위해 분광분석기(USB2000, Ocean Optics Inc., USA)를 사용하였다.

* 전남대학교 농생대학 생물산업공학과

USB2000은 가시광선부터 근적외선영역(660nm - 1100 nm)의 분광 스펙트럼을 0.36nm 간격으로 수집할 수 있는 분석기이다. 토마토 분광 스펙트럼의 당도별 특성을 분석하기 위해서는 다중회귀 (Multiple Linear Regression: MLR) 분석, 주성분회귀 (Principal Component Regression: PCR) 분석, PLS (Partial Least Square) 분석 등 통계적 기법을 주로 응용하는데 본 연구에서는 다중회귀분석법을 사용하여 분석하였다. 또한 토마토의 당도를 확인하기 위하여 분광분석기로 측정된 위치를 당도계(PR-32, ATAGO Inc., Japan)를 이용하여 측정하였다.

다. 실험 방법

가) 완숙 토마토의 당도별 분광특성 분석

토마토 표면에서 수집한 반사광의 분광분석에 의해 토마토 당도 측정의 가능성을 파악하기 위해 20개 완숙 토마토를 대상으로 하여 각 토마토의 9개 위치에서 반사광의 분광 스펙트럼 자료를 수집하고 동일 위치의 당도를 당도계로 측정하였다. 수집한 분광 스펙트럼 자료는 총 180개이고 측정된 당도의 범위는 2.2 - 7.8 % Brix로서 공시 토마토의 경우 비교적 넓은 범위의 당도 분포를 가지고 있었다.

이러한 분광 스펙트럼 자료를 수집한 자료 중 당도별로 임의 추출한 것을 그림으로 나타낸 것은 그림 1(a)와 같다. 수집한 분광 스펙트럼 자료는 고주파 잡음을 포함하고 있어, 이를 제거하기 위하여 수치적인 방법으로 평활화 필터(smoothing filter)를 처리하였고 그 결과는 그림1(b)와 같다. 그림과 같이 광파장 660-1100 nm 범위에서 토마토의 분광 스펙트럼은 당도별로 그 차이가 있는 것으로 판단되었으나 그림으로 당도별 스펙트럼의 특성을 파악하는 것은 불가능하였다.

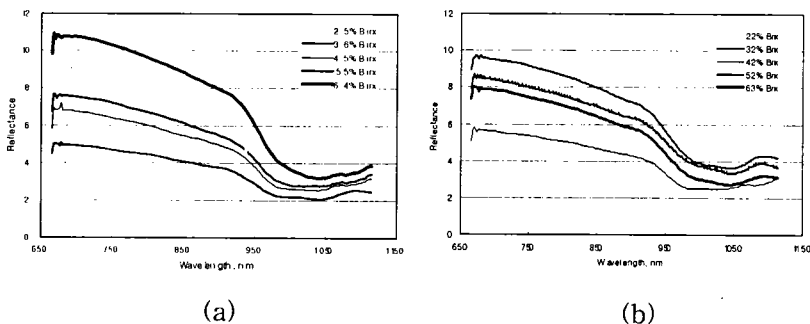


Fig. 1 토마토의 당도별 분광 스펙트럼

나) 당도 측정 알고리즘 개발

수집한 토마토 반사광의 분광 스펙트럼으로부터 당도 특성을 파악하기 위하여 본 연구에서는 다중회귀분석을 수행했다. 수집한 분광 스펙트럼 자료는 측정 광파장 범위를 1250 개로 분할(광파장 간격 0.36 nm)하여 측정된 것으로서 본 연구에서는 다중회귀분석에 앞서

전처리 과정의 하나로써 수집한 자료를 광파장 간격 2.16 nm으로 변환하여 측정 광파장 전 범위를 208 개의 요소로 분할하였다.

다중회귀 분석은 stepwise 변수 선택법을 사용하여 유의성 있는 변수(유의수준 0.15)를 선발한 다음 선발한 변수의 회귀계수를 구하는 방법으로 수행하였다. 다중회귀분석은 SAS(Ver. 8.2, SAS Institute Inc., North Carolina, USA)를 이용하였다.

토마토의 반사 스펙트럼으로부터 토마토의 당도 측정 알고리즘을 개발하기 위해서 반사 스펙트럼을 이용한 당도별 특성 분석을 위해 사용한 다중회귀분석 결과로부터 얻은 다중회귀모형(multiple linear model : MLM)을 이용하여 완숙 토마토의 당도 측정 알고리즘을 개발하였다.

본 실험의 180 개 시료로부터 얻은 다중회귀모형의 선발 변수와 회귀계수들은 다음과 같다.

Analysis of Variance					
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	19	156.05452	8.21340	16.51	<.0001
Error	160	79.60548	0.49753		
Corrected Total	179	235.66000			

Variable	Parameter Estimate	Standard Error	Type III SS	F Value	Pr > F
Intercept	5.38703	0.32786	134.32513	269.98	<.0001
x2	1.94982	0.43019	10.22091	20.54	<.0001
x6	-1.93994	0.40252	11.55638	23.23	<.0001
x7	-1.26149	0.42170	4.45233	8.95	0.0032
x28	-11.10160	3.95802	3.91416	7.87	0.0057
x32	15.48109	6.08988	3.21521	6.46	0.0120
x36	-8.62994	4.62911	1.72919	3.48	0.0641
x56	-28.63605	13.63650	2.19403	4.41	0.0373
x57	37.04747	13.77554	3.59851	7.23	0.0079
x63	29.82424	12.49009	2.83681	5.70	0.0181
x64	-23.64446	12.78935	1.70053	3.42	0.0663
x70	-13.00341	5.00659	3.35624	6.75	0.0103
x81	8.64153	5.54442	1.20863	2.43	0.1211
x84	18.79264	6.41007	4.27635	8.60	0.0039
x87	-19.81207	5.02277	7.74099	15.56	0.0001
x120	-5.00496	1.47595	5.72116	11.50	0.0009
x151	31.96540	6.61823	11.60646	23.33	<.0001
x152	-52.73541	10.99658	11.44227	23.00	<.0001
x153	22.73438	7.34681	4.76422	9.58	0.0023
x183	-1.25125	0.26221	11.32970	22.77	<.0001

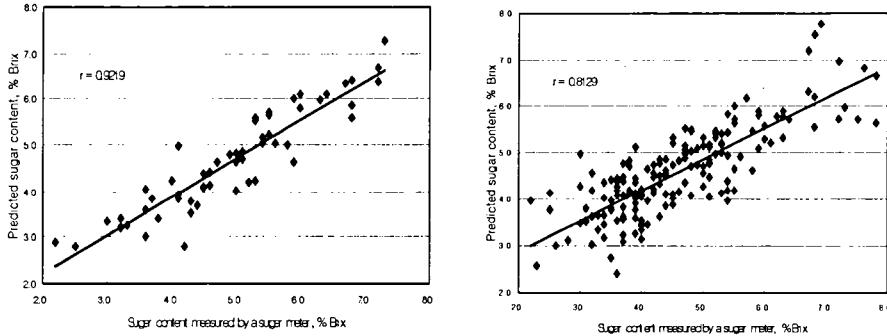
All variables left in the model are significant at the 0.1500 level.

No other variable met the 0.1500 significance level for entry into the model.

3. 결과 및 고찰

다중회귀 분석으로부터 얻은 회귀계수를 적용한 당도 예측 모형과 수집한 분광 스펙트럼 자료를 사용하여 토마토의 당도를 예측한 다음 회귀모델에 따른 예측당도와 당도계로 측정된 실측 당도간의 상관관계를 분석하였으며 그 결과는 그림 2와 같다. 그림 2의 a)는 예비 실험으로서 임의로 56 개의 스펙트럼 자료를 선택하여 분석한 결과이고, b)는 수집한 180 개의 전 스펙트럼 자료를 대상으로 분석한 결과이다.

그림과 같이 분광분석 자료로 예측한 당도와 실측 당도의 상관관계는 (a)의 경우 상관계수(r) 0.9219, (b)의 경우 상관계수(r) 0.8129의 높은 수준을 보임으로서 본 연구에서 가정하고 시도하는 반사광 분광분석에 의한 완숙 토마토의 당도 측정은 상당 수준의 정확도로 가능함을 확인할 수 있었다.



(a)임의 선택 56개 자료 실험 결과 (b) 전체 180개 자료 실험 결과
Fig. 2 분광분석 자료로 예측한 당도와 실측 당도간의 상관관계

4. 결 론

본 연구는 비파괴적인 방법에 의한 토마토 선별기를 개발하고자 토마토의 분광특성을 이용한 완숙 토마토의 당도예측 알고리즘을 구현했다. 연구결과 분광분석 자료의 회귀분석에 따른 당도예측 모델의 예측 당도와 당도계로 측정된 실측 당도는 상당 수준의 상관관계(임의 추출 56개 자료의 경우 상관계수 0.9219, 전체 자료의 경우 상관계수 0.8129)를 보여 반사광 분광분석에 의한 완숙 토마토의 당도 측정은 높은 정확도로 가능함을 확인할 수 있었다.

5. 참고문헌

1. Lu Renfu, D. E. Guyer, M. Beaudry. 2000. Determination of firmness and sugar content of apples using near-infrared diffuse reflectance. *Journal of Texture Studies*. 31(2000): 615-630.
2. Lu Renfu. 2003. Predicting apple fruit firmness and sugar content using near-infrared scattering properties. ASAE. Paper No. 036212.
3. Lu Renfu. 2003. Multispectral imaging for predicting firmness and soluble solids content of apple fruit. *Postharvest Biology and Technology*. 31(2004): 147-157.
4. Lu Renfu. 2003. Near-infrared multispectral scattering for assessing internal quality of apple fruit. SPIE. Paper No. 5271-35
5. Dull, G. G., G. S. Birth, D. A. Smittle, and R. G. Leffler. 1997. Near infrared analysis of soluble solids in intact cantaloupe. *J. Food. Sci.* 54(2): 393-395.