

표면온도와 측정거리에 따른 완숙 토마토의 분광특성을 이용한 당도 예측 모형 개발

Development of prediction model to estimate to sugar content of riped tomato using spectrometric property of surface temperature and measurement distance

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

1. 서론

토마토는 '85년 이후 계속 감소하다가 최근 국민소득 향상과 식생활이 변화되고 토마토 소비량이 계속 증가함에 따라 재배면적과 생산량이 증가 추세에 있다. 또한 소비형태도 계절소비에서 연중 소비로 변화됨에 따라 노지재배에서 시설재배로 신속히 전환되어 가고 있다. 따라서 시설재배는 매년 재배 면적, 생산량이 계속 증가하고 있으나, 노지재배는 매년 재배면적과 생산량이 감소하는 추세에 있다. 또한 미숙과 수확출하로 고품질 생산이 곤란하여 소비자 기호도의 변화에 부응하지 못하고 있으며 토마토 품질과 규격에 따른 선별이 미흡한 실정이다. 이러한 소비자 기호도에 맞는 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 결합과 같은 외부요소와 맛과 수분함유량, 내부 결합등의 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 토마토의 내부 품질인 당도를 비파괴적인 방법인 spectrometer 장비를 이용하여 당도에 따라 자동으로 토마토를 분류하는 시스템을 개발하기 위한 연구로 토마토 표면온도별, 토마토와 센서와의 거리별 분광특성을 이용한 당도측정모형을 개발하는데 그 목적이 있다.

2. 재료 및 방법

가. 공시 재료*

토마토의 분광특성을 측정하기 위하여 광주광역시 광산구에 위치한 농가에서 2006년 2월

* 전남대학교 농업생명과학대학 생물산업공학과

20에 정식한 슈퍼 도태량 품종으로서 수경 재배한 2006년 5월 20일에 수확하기 시작한 토마토를 수집하여 스펙트럼을 측정하고 분석하였다.

나. 실험 장치 및 방법

가) 토마토 분광 특성 측정 장치와 당도 측정 장치

토마토 표면온도별 분광 스펙트럼을 수집하기 위하여 온도 조절 장치를 제작하여 수집한 토마토 총 90개(온도별 30개)를 저장한 다음 표면온도 10℃, 20℃, 30℃로 토마토 온도를 유지 시킨 후 3종 온도별 분광 스펙트럼을 측정하였고, 센서와 토마토와의 거리에 따른 당도 측정모형을 개발하기 위하여 probe 끝단으로부터 측정하고자 하는 토마토 표면까지의 거리를 6mm부터 46mm 까지(10mm 간격) 센서를 이동시키면서 표면온도별로 측정한 동일한 지점에서 측정거리별 분광 스펙트럼 자료를 수집하였다. 이러한 토마토의 분광 스펙트럼은 분광분석기(USB2000, Ocean Optics Inc., USA)를 사용하여 토마토 표면의 분광 스펙트럼을 수집하였다. 사용한 분광분석기는 가시광선부터 근적외선영역(650nm ~ 1100nm)의 분광 스펙트럼을 0.36nm 간격으로 수집할 수 있는 분석기이다. 토마토 당도는 분광분석기로 측정한 토마토의 동일한 위치를 당도계(PR-32, Atago, Japan)로 측정하여 수집하였다. 이러한 방법으로 수집한 분광스펙트럼과 당도의 특성을 분석하기 위한 분석기법으로 주성분회귀(Principal Component Regression : PCR) 분석, 다중회귀분석(Multiple Linear Regression : MLR), PLS(Partial Least Square) 분석 등의 통계적 기법을 주로 사용하는데 본 연구에서는 주성분회귀분석 중 PLS 방법으로 수집한 분광스펙트럼과 당도와의 관계를 분석하여 당도 측정 모형을 구하는데 사용하였다.

나) 당도 측정 모형 개발

수집한 토마토 표면온도별, 측정거리별 반사광의 분광 스펙트럼으로부터 당도 특성을 파악하고 당도예측 모형을 구하기 위하여 본 연구에서는 주성분회귀분석을 수행하였다. 수집한 분광 스펙트럼 자료는 측정 광파장 범위를 2048 개로 분할(광파장 간격 0.36 nm)하여 측정한 것으로서 본 연구에서는 주성분회귀분석에 앞서 전처리 과정의 하나로서 측정 광파장 범위 중 664 nm부터 1100 nm까지의 1296개의 수집한 자료를 광파장 간격 2.16 nm으로 변환하여 총 216 개의 요소로 분할하였다.

주성분회귀분석 중 PLS방법 사용하여 주성분 회귀계수를 구하는 방법으로 수행하였다. 주성분회귀분석은 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 주성분회귀분석 결과로부터 얻은 주성분회귀모형(Principle component regression model : PCRM)을 이용하여 완숙 토마토의 당도 측정 모형을 개발하였다.

3. 결과 및 고찰

가) 토마토 표면온도별 당도 측정 모형 개발

당도 예측 모형은 시료의 표면온도에 따라 영향을 받는 것으로 알려져 있어 당도 예측 모형을 개발하는데 표면온도의 영향을 구명하기 위하여 수집한 토마토 표면온도를 3종(10℃, 20℃, 30℃)으로 유지시킨 후 당도 예측 모형을 개발하였고 표면온도별 수집한 분광 스펙트럼을 분

석한 결과는 그림 1과 같다. 그림과 같이 표면온도별로 각각의 당도 예측식을 적용하여야 높은 정확도 수준에서 당도를 예측할 수 있을 것으로 판단된다. 현재는 이러한 당도 예측식에 대하여 가능한 표면온도의 영향을 배제할 수 있는 방법을 모색 중에 있다.

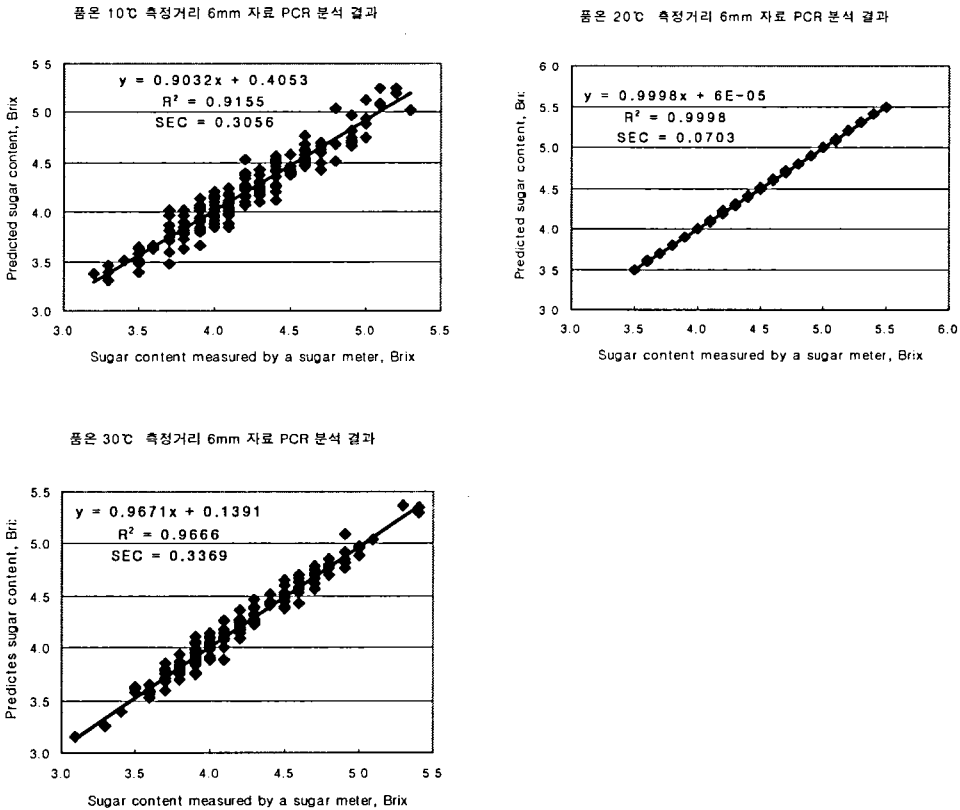


fig. 1 표면온도별 당도 예측 모형 분석 결과

나) 측정거리 구간별 당도 측정 모형 개발

일반적인 과일과 마찬가지로 토마토 또한 그 크기가 각각 다르다. 그 크기가 다르기 때문에 센서와 토마토의 거리는 당도를 예측하는데 있어 중요한 영향을 줄 것으로 판단되는 요인 중 하나이다. 따라서 본 연구에서는 개발한 당도측정 모형이 측정거리에 관계없이 당도를 정확하게 예측할 수 있는 모형을 개발하기 위하여 토마토와 센서간 거리별로 각각의 당도 예측식을 구하고 그 거리에 해당하는 당도 예측식을 사용하여 당도를 예측하는 당도 측정 모형을 개발하고자 하였다. 또한 측정거리별 당도 측정 모형을 사용하는 것보다는 측정거리 구간을 설정하여 설정구간별 당도 예측모형을 개발하고자 하였다. 이를 위하여 본 연구에서는 토마토와 센서간 거리를 6 ~ 46 mm 까지 측정거리를 10 mm씩 증가하며 토마토의 반사 스펙트럼 자료를 수집한 후 그 결과를 분석한 결과 표 1과 같다. 표 1과 같이 측정거리별로 당도 예측식을 적용하는 것 보다는 측정거리를 6-16mm, 16-26mm, 26-46mm 3종 구간 또는 6-26mm, 26-46mm 2종 구간으로 설정하여 구간별 당도 예측식을 적용하여야 할 것으로 판단되었으며 이러한 당도 예측식에 대하여 가능한 측정거리의 영향을 배제할 수 있는 방법을 모색 중에 있다.

Table 1. 센서와 토마토 측정거리에 따른 당도예측모형 분석 결과

	측정거리					측정거리 군				
	6	16	26	36	46	6-16	6-26	16-26	16-36	26-46
결정계수 (R^2)	0.9155	0.8815	0.8813	0.9210	0.8422	0.9349	0.9440	0.9263	0.8841	0.9225
SEC	0.3056	0.4275	0.4677	0.3491	0.4933	0.3651	0.3094	0.3651	0.4391	0.3641

4. 결론

본 연구는 토마토 표면온도 및 센서와 토마토의 거리에 따른 당도예측모형을 개발하기 위하여 수행하였다. 연구결과 토마토 표면온도별 당도예측모형을 적용하여야 높은 정확도로 당도를 측정할 수 있을 것으로 판단되었다. 센서와 토마토 표면의 측정거리에 관계없이 당도를 예측할 수 있는 모형을 개발하기 위하여 토마토와 센서간 거리별로 각각의 당도 예측식을 구하고 그 거리에 해당하는 당도 예측식을 사용하여 당도를 예측하는 당도 측정 모형을 개발하고자 하였다. 분석 결과 측정거리에 관계없이 당도를 예측하는 모형의 경우 낮은 수준으로 당도를 예측하는 것으로 분석되었으나 측정거리별 당도예측모형은 높은 수준으로 당도를 예측할 수 있을 것으로 분석되었다. 또한 측정거리 구간을 설정하여 설정구간별 당도 예측모형을 개발하고 분석한 결과 측정거리별 당도예측모형보다 높은 수준으로 당도를 예측할 수 있을 것으로 판단되었다. 따라서 비파괴적인 완숙 토마토의 당도를 정확하게 측정하기 위한 당도예측 모형은 토마토 표면온도별 그리고 센서와 토마토 표면의 측정거리에 따라 각각의 모형을 개발하고 적용하여야 할 것으로 판단된다.

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, D.Ariana. 2003. Multispectral imaging for predicting firmness and soluble solids content of apple fruit. *Postharvest Biology and Technology*. 31(2004): 147-157.
4. Lu Renfu. 2002. A near-infrared sensing technique for measuring internal quality of apple fruit. 2002. ASAE. Vol. 18(5):585-590.
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.