

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*
정회원	정회원	정회원	정회원
S. R. Suh	Y. T. Kim	S. N. Yoo	Y. S. Choi

1. 서 론

토마토 소비는 '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 면적과 생산량이 감소하는 추세에 있다. 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 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 토마토의 내부 품질인 당도를 비파괴적인 방법인 spectrometer 장비를 이용하여 당도에 따라 자동으로 토마토를 분류하는 시스템을 개발하기 위한 연구로 분광특성에 따른 당도 예측 알고리즘을 개발하는데 그 목적이 있다.

* 전남대학교 농업생명과학대학 생물산업공학과

2. 재료 및 방법

가. 공시 재료

토마토의 분광특성을 측정하기 위하여 광주광역시 광산구에 위치한 1농가와 전남 장성군의 토마토 재배 농가 3곳 등 총 4농가에서 슈퍼 도태랑과 슈퍼 선로드 품종의 완숙 토마토를 20개~30개씩을 2005년 3월, 5월, 7월, 10월, 11월에 수집하였다.

나. 실험 장치 및 방법

가) 토마토 분광 특성 및 당도 측정 장치와 방법

토마토의 분광특성을 측정하기 위해 분광분석기(USB2000, Ocean Optics Inc., USA)를 사용하여 토마토 표면의 분광스펙트럼을 수집하였다. 사용한 분광분석기는 가시광선부터 근적외선 영역(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 수집하였으며 토마토의 분광특성의 측정은 각 토마토의 15개~20개 위치에서 Probe 끝단으로부터 측정하고자 하는 토마토 표면까지의 거리를 6mm로 고정하여 반사광의 분광 스펙트럼 자료를 수집하였고 분광분석기로 측정한 동일한 위치에서 당도계로 당도를 측정하는 방법으로 당도 자료를 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 당도예측 모형을 구하는데 사용하였다.

나) 당도 예측 알고리즘 개발

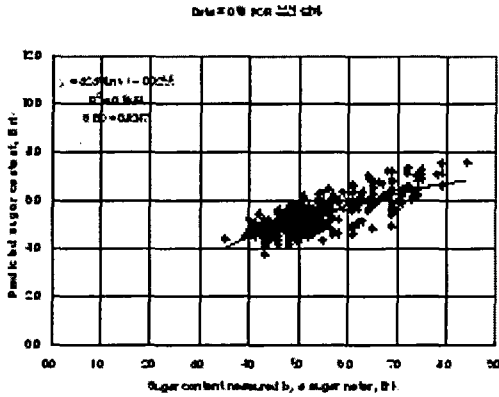
수집한 토마토 반사광의 분광 스펙트럼으로부터 당도 특성을 파악하고 당도예측 모형을 구하기 위하여 본 연구에서는 주성분회귀분석을 수행하였다. 수집한 분광 스펙트럼 자료는 측정 광파장 범위를 2048 개로 분할(광파장 간격 0.36 nm)하여 측정한 것으로서 본 연구에서는 주성분회귀분석에 앞서 전처리 과정의 하나로서 측정 광파장 범위 중 665 nm부터 1012 nm까지의 1020개의 수집한 자료를 광파장 간격 2.16 nm으로 변환하여 총 170 개의 요소로 분할하였다.

주성분회귀분석 중 PLS방법 사용하여 주성분 회귀계수를 구하는 방법으로 수행하였다. 주성분회귀분석은 SAS(Ver. 8.2, SAS Institute Inc., North Carolina, USA)를 이용하였다.

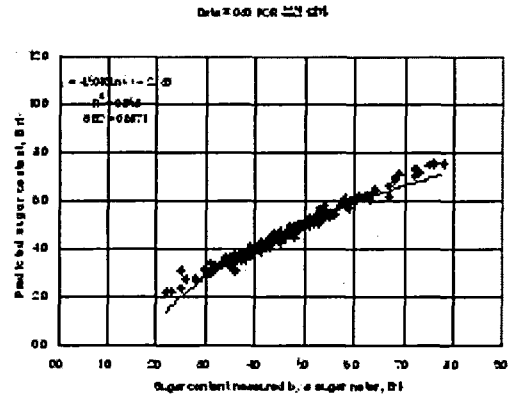
토마토의 당도 예측 알고리즘은 전처리한 분광 스펙트럼자료를 이용한 당도별 특성 분석을 위해 사용한 주성분회귀분석 결과로부터 얻은 주성분회귀모형(Principle component regression model : PCRM)을 이용하여 완숙 토마토의 당도 예측 알고리즘을 개발하였다.

3. 결과 및 고찰

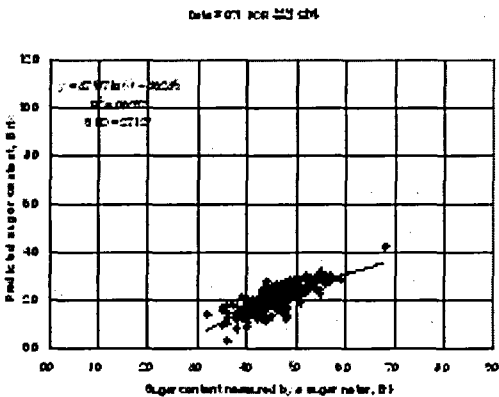
주성분회귀분석으로부터 얻은 회귀계수를 적용한 당도 예측 모형과 수집한 분광 스펙트럼 자료를 사용하여 토마토의 당도를 예측한 다음 회귀모델에 따른 예측당도와 당도계로 측정된 실측 당도간의 상관관계를 분석하였으며 그 결과는 그림 1과 같다. 그림 1의 a)는 3월 수집 토마토 자료, b)는 5월 수집 토마토 자료, c)는 7월 수집 토마토, d)는 10월 수집 토마토, e)는 11월 수집 토마토의 스펙트럼 자료를 대상으로 각각의 주성분회귀분석 모형의 결과로서 R^2 , SEC(Standard Error of Calibration)를 분석한 결과이다. 그림과 같이 분광분석 자료로 예측한 당도와 실측 당도의 상관관계는 a)의 경우 결정계수(R^2) 0.9580, SEC = 0.6871, b)의 경우 결정계수(R^2) 0.5684, SEC = 0.8247, c)의 경우 결정계수(R^2) 0.6297, SEC = 2.7127, d)의 경우 결정계수(R^2) 0.7128, SEC = 5.9189, e)의 경우 결정계수(R^2) 0.4756, SEC = 5.3498로서 본 연구에서 가정하고 시도하는 반사광 분광특성 분석에 의한 완숙 토마토의 당도를 예측 하기에는 미흡한 것으로 판단되었다.



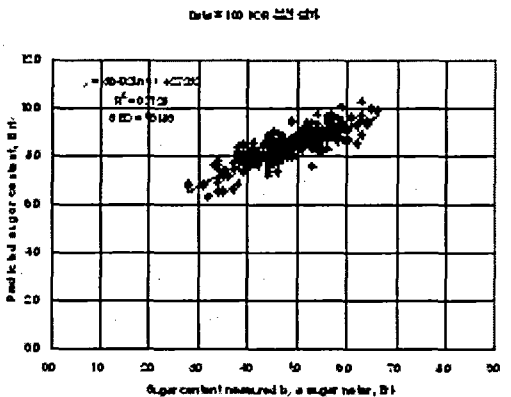
a) 3월 수집 토마토 분석 결과



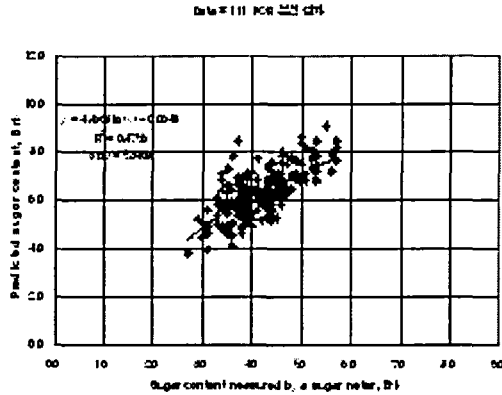
b) 5월 수집 토마토 분석 결과



c) 7월 수집 토마토 분석 결과



d) 10월 수집 토마토 분석 결과



e) 11월 수집 토마토 분석 결과

Fig. 1 분광 스펙트럼 자료를 이용한 주성분회귀모형에 의한 분석 결과

4. 결론

본 연구는 비파괴적인 방법에 의한 토마토 선별기를 개발하고자 토마토의 분광특성을 이용한 완숙 토마토의 당도예측 알고리즘을 구현하고자 하였다. 연구결과 분광분석 자료의 주성분회귀분석에 따른 당도예측 모델의 예측 당도와 당도계로 측정된 실측 당도는 비교적 낮은 수준의 상관관계를 보여 반사광 분광특성에 의한 완숙 토마토의 당도를 예측하는 알고리즘을 사용하기에는 미흡한 것으로 판단되나 많은 자료의 축적과 보안을 통해 당도 예측 알고리즘의 정확도를 높일 수 있을 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. 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.