

가시광 및 근적외선 분광기법을 이용한 방울토마토의 내부품질 예측에 관한 연구

김대용 조병관 모창연 김영식

Study on Prediction of Internal Quality of Cherry Tomato using Vis/NIR Spectroscopy

D. Y. Kim B. Cho C. Mo Y. S. Kim

Abstract

Although cherry tomato is one of major vegetables consumed in fresh vegetable market, the quality grading method is mostly dependant on size measurement using drum shape sorting machines. Using Visible/Near-infrared spectroscopy, apparatus to be able to acquire transmittance spectrum data was made and used to estimate firmness, sugar content, and acidity of cherry tomatoes grown at hydroponic and soil culture. Partial least square (PLS) models were performed to predict firmness, sugar content, and acidity for the acquired transmittance spectra. To enhance accuracy of the PLS models, several preprocessing methods were carried out, such as normalization, multiplicative scatter correction (MSC), standard normal variate (SNV), and derivatives, etc. The coefficient of determination (R_p^2) and standard error of prediction (SEP) for the prediction of firmness, sugar, and acidity of cherry tomatoes from green to red ripening stages were 0.859 and 1.899 kgf, with a preprocessing of normalization, 0.790 and 0.434 °Brix with a preprocessing of the 1st derivative of Savitzky Golay, and 0.518 and 0.229% with a preprocessing normalization, respectively.

Keywords : Vis/NIR spectroscopy, Transmittance spectra, Cherry tomato, Internal quality, Partial least square analysis

1. 서론

최근 건강식품에 대한 관심의 증가로 생산량과 소비량이 꾸준히 증가되어 온 방울토마토는 리코펜, 플라보노이드, 글루타민산, β 카로틴, 비타민 등을 함유하고 있어 성인병 예방, 항암효과, 해독, 숙취 등에 효과가 큰 것으로 알려져 있고, 절단하여 먹는 대과토마토보다 다루기가 쉬워 한국과 일본 등지에서도 방울토마토의 재배와 소비가 꾸준히 증가하고 있다(Choi et al., 2009).

국내에서 생산되는 방울토마토는 여러 품종이 있으나 수확량의 기복과 열과 발생이 적은 품종인 꼬꼬(*Lycopersicon esculentum* Mill)가 가장 많이 재배되고 있으며 속도가 완전

히 진행된 꼬꼬 품종은 과중이 20~25 g 정도이며, 당도는 8~10 °Brix 정도로 수출에 적합하여 많은 양이 일본으로 수출되고 있다(Kim, 2009). 그러나 국내에서 생산되는 방울토마토는 선진국에 비해 당도, 착색도 등 상품성이 떨어진다는 평가를 받고 있어 고품질 상품화를 통한 경쟁력 강화를 위한 노력이 필요한 시점이다.

농산물의 상품성을 결정짓는 인자로는 크기, 색상, 모양 등의 외부인자와 경도, 당도, 산 함량, 내부 장해 등 내부인자로 구분하고 있다(Noh and Ryu, 2002). 내부품질은 대부분이 화학적 성분과 관련이 있으며 비파괴적으로 분석하여야 하는데, 현재까지 분광분석 방법이 가장 활발히 이용되고 있다(Choi et al., 1997). 분광분석 방법은 투과 방식과 반사 방식

The article was submitted for publication on 2010-11-05, reviewed on 2010-11-22, and approved for publication by the editorial board of KSAM on 2010-11-30. The authors are Dae Yong Kim, Graduate Student, Byoung-Kwan Cho, Assistant Professor, KSAM member, Dept. of Biosystems Machinery Engineering, Chungnam National University, Daejeon, Korea, Changyeun Mo, Researcher, KSAM member, National Academy of Agricultural Science, RDA, and Young Sik Kim, Professor, Dept. Plant Industry Engineering, Sangmyung University, Choeran, Korea. Corresponding author: B.-K. Cho, Assistant Professor, Dept. of Biosystems Machinery Engineering, Chungnam National University, Daejeon, 305-764, Korea; Fax: +82-42-823-6246; E-mail: <chobk@cnu.ac.kr>.

으로 크게 나눌 수 있으며 전자는 농산물에 빛을 조사한 후 내부부를 통과한 빛을 획득하는 방식이며, 후자는 조사된 빛이 내부로 침투 후 시료의 표면에서 반사되어 흩어지는 광을 수집하여 스펙트럼으로 이용하는 방식이다(Nicolai et al., 2007). 분광분석을 이용한 농산물의 내부품질 연구는 사과(Choi et al., 1997; Lu et al., 2000; Lee et al., 2004), 토마토(Kim and Suh, 2008), 복숭아(Kawano et al., 1992) 멜론(Dull et al., 1992) 등 많은 과실을 대상으로 수행되어 왔으며, 분석기법으로는 PLSR(partial least square regression), PCR(principal component regression), MLR(multiple linear regression) 등이 이용되어 왔다.

현재 방울토마토는 대부분 드럼선별기에 의한 크기선별만을 이용하고 있어 정확한 품질선별을 기대하기는 어려운 실정이며, 또한 방울토마토에 관련된 연구의 대부분이 생리활성 및 재배기술의 연구에 집중되어 농가의 소득에 실질적으로 기여할 수 있는 선별기술의 연구는 다소 미흡하였다(Kim and Cho, 2009).

따라서 본 연구에서는 현재 크기로만 선별되고 있는 방울토마토의 품질 경쟁력을 향상시키기 위하여 경도와 당도, 산함량 등의 품질측정에 분광분석방법을 적용하여 내부품질의 예측 가능성을 구명하고자 수행하였다.

2. 재료 및 방법

가. 공시재료

본 실험에 사용한 공시재료인 방울토마토는 충남 논산에서 채배된 것으로 2010년 3월에서 5월 사이에 수확한 방울토마토를 사용하였으며 토마토 칼라 차트(표 1)를 이용하여 Green(GN), Breaker(BK), Turning(TN), Pink(PK), Light-red(LR), Red(RD) 속도 등급으로 나누어 수확하였다. 실험은 총 6회로 나누어 실시하였으며 각 실험에서 속도 등급마다 5개의 샘플을 취하여 30개씩 총 180개를 사용하였다. 총 6회 중 3회는 수경에서 채배된 방울토마토를 수확하였으며 나머지 3회는 노지하우스에서 수확하였다. 수확된 시료는 실험실로 이송된 다음

그림 1에 나타낸 바와 같이 투과방식의 스펙트럼을 획득한 후 경도, 당도, 산 함량을 측정하여 비교하였다.

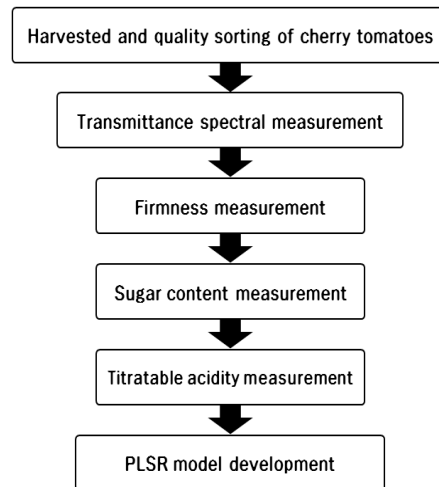


Fig. 1 Flow diagram of steps performed to measure cherry tomatoes.

나. 실험장지 및 방법

1) 투과 스펙트럼 측정 장치

방울토마토의 투과스펙트럼을 얻기 위해서 구성된 장치는 그림 2에 나타낸 바와 같다. 투과스펙트럼 측정 장치는 외부의 빛을 차단하기 위하여 암실로 구성되었으며 내부 시료부위에 할로겐램프를 달아 50 W의 출력으로 직접 조명하였다. 조사된 광이 방울토마토 표면 전체를 비추도록 조명과 방울토마토의 거리가 10 cm가 되게 하였다.

조사된 광은 시료를 통과한 후 광섬유를 지나 분광분석기(USB4000, Ocean Optics Inc., U.S.A.)와 컴퓨터에 의해 스펙트럼으로 저장된다. 본 실험에 사용한 분광분석장치의 측정범위는 471.4~1153.7 nm이며, 스펙트럼 해상도는 0.2 nm이다.

2) 투과 스펙트럼 획득

총 180개의 방울토마토에 대하여 각각의 투과스펙트럼을 측정하였으며 투과스펙트럼의 측정 시 노출시간(integration time)

Table 1 USDA ripening classes of tomatoes (USDA, 1997)

Class	Description ^a
Mature Green	Entirely light-to dark-green, but mature
Breaker	First appearance of external pink, red or greenish-yellow color ; not more than 10%
Turning	Over 10% but not more than 30% red, pink or orange-yellow
Pink	Over 30% but not more than 60% pinkish or red
Light-red	Over 60% but not more than 90% red
Red	Over 90% red; desirable table ripeness

^a All percentages refer to both color distribution and intensity.

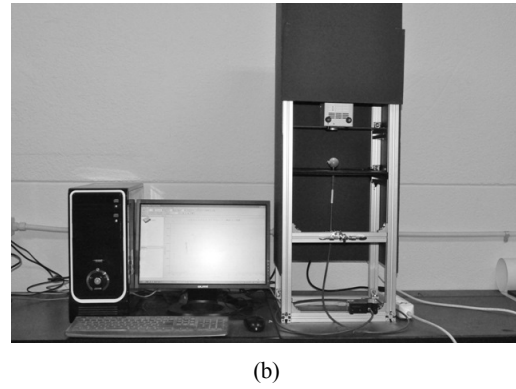
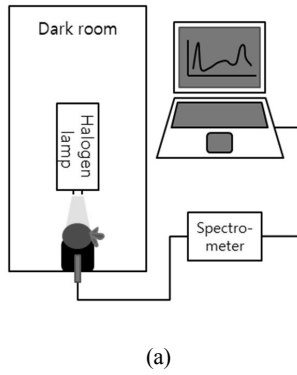


Fig. 2 Schematic(a) and Photo(b) of the experiment apparatus.

은 50 msec로 한 후 실시간으로 8회의 스펙트럼을 측정 한 후 평균값을 구하여 이용함으로써 특정 샘플에 특정 잡음이 포함되는 것을 방지하고자 하였다. 계측된 스펙트럼은 0.2 nm 간격으로 획득되어 총 3,648개의 데이터가 하나의 스펙트럼으로 저장된다.

3) 방울토마토 내부품질 측정

가) 경도 측정

만능재료시험기(SY-T-001, Sunyoung Systech Co., Korea)를 이용하여 그림 3과 4에 나타난 바와 같이 경도를 측정하였다. 소비자가 토마토를 고를 때의 힘은 대부분 압축에 의한 힘이므로 이를 고려하여 평판지그를 장착하여 압축하였다. 경도 실험을 실시한 후 파괴된 방울토마토는 시료가 작아서 당도와 산도의 결과값에 영향을 미치게 되므로 파괴되지 않

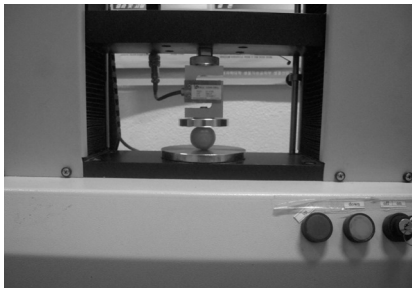


Fig. 3 Universal Testing Machine.

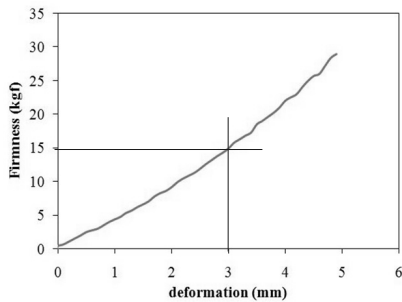


Fig. 4 Graph of firmness test.

는 범위 내의 압축변위 지점을 설정하여 경도값을 구하였다. 대부분의 방울토마토가 압축변위의 5 mm이상일 경우 파괴가 일어나므로 이 보다는 적은 변위인 3 mm를 압축변위로 선정하여 실험하였다. 미국 농공학회에서는 과일 및 채소의 물성측정에 사용되는 하중재하속도를 2.5~30 mm/min로 권장하고 있으나 작물의 특성에 따라 상대적이라는 것을 명시하고 있다. 사과, 배, 복숭아의 경우는 33 mm/min 이하의 하중재하속도를 주로 사용하였고, 감자의 경우는 50~500 mm/min의 하중재하속도를 물성측정에 사용하였다(ASABE, 2009). 본 연구에서는 60 mm/min의 하중재하속도를 선정하였는데 이는 예비실험 결과 미국 농공학회 권장 범위인 30 mm/min 이하의 하중재하속도보다 토마토 속도 등급 간의 차이가 더 뚜렷한 경향을 보였기 때문이다.

나) 당도 및 산 함량 측정

당도를 측정하기 위하여 과육조직을 균질하게 분쇄하고 체를 이용하여 고형성분을 제거한 뒤 굴절당도계(PR-32a, ATAGO)로 당도(°Brix)를 측정하였다. 그리고 남은 과즙을 산 함량 측정을 위하여 과즙 1 mL과 증류수 50 mL을 희석한 다음 pH 미터(3-star bench-top, Thermorion)와 25 mL 디지털 뷰렛(Digital Burette, BRAND)으로 0.1 N NaOH용액을 pH 미터 8.3 %가 될 때까지 NaOH 용액을 첨가하였다. 식 (1)-(3)을 이용하여 NaOH에 의한 산의 적정법으로 방울토마토의 주산인 구연산(citric acid)의 분자량 1 N로 환산하여 식 (3)에 나타난 바와 같이 산 함량의 농도를 계산하였다.

$$N \cdot V = N' \cdot V' \quad (1)$$

$$N' = \frac{N \cdot V}{V'} \quad (2)$$

Where, N = Concentration of NaOH

V = Volume of NaOH

N' = Acid concentration of sample

V' = Volume of sample

$$\text{Titrateable Acidity}(\%) = N' \times 64.04 \times 1/1000 \times 100 \quad (3)$$

TA = Concentration of acidity in the 100 mL
Citric acid M.W. = 64.04/1N

4) 내부품질 예측모델 개발

시료를 투과한 스펙트럼은 시료에서의 광 산란, 광 경로의 변화, 측정 장치 자체의 잡음, 실험 시간 동안의 환경 변화 등에 따라 스펙트럼의 변화가 일어나며 이를 제거하고 보다 안정적인 모델을 만들기 위해 전처리 기법을 사용한다(Ryu et al., 2000). 본 연구에서는 획득한 투과스펙트럼에서 이러한 변이를 제거하기 위하여 다음과 같이 다양한 전처리를 실시하였다. 평균(mean), 최대(maximum), 범위(range) 값을 이용한 정규화법(normalization)과 전처리 기법으로 가장 많이 활용되고 있는 MSC, SNV 기법과 Savitky-Golay 1차 및 2차 미분을 전처리 기법으로 사용하였다(Kim and Suh, 2008).

전처리를 실시한 데이터와 처리하지 않은 데이터, 총 8종의 데이터 셋을 이용하여 내부품질을 예측하고자 PLSR를 실시하였으며, 소프트웨어는 Unscrambler(Camo Co., Norway)를 이용하였다. 총 180개의 데이터 중 모델 개발에 120개의 데이터를 사용하였고 나머지 60개의 데이터를 검증에 사용하였다. 무작위로 분류된 데이터의 통계분석은 표 2와 같다.

5) 예측모델의 평가 기준

Ryu 등(2000)과 Shao 등(2007)은 각 전처리에 의해 개발된 예측모델의 성능을 SEC(standard error of calibration) 및 SEP(standard error of prediction)가 작고, bias가 작으며 개발된 모델의 결정계수와 검증시료의 결정계수가 크며, 모델에 포함된 PLSR factor(principal component)의 수가 작은 정도로 평가하였다. 본 연구에 개발된 예측모델도 이전 연구의 성능 평가 기준을 참조하였다. 따라서 SEC와 SEP가 작고, 결정계수(R_c^2 , R_v^2)가 크며, 모델에 포함된 PLSR의 factor의 수가 작은 예측모델을 적정 모델로 선택하였다.

$$SEC = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (y_i - \hat{y}_i)^2}{(m-1)}} \quad (4)$$

$$SEP = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m ((y_i - \hat{y}_i) - bias)^2}{(m-1)}} \quad (5)$$

$$bias = \frac{\sum_{i=1}^m (y_i - \hat{y}_i)}{m} \quad (6)$$

3. 결과 및 고찰

가. 투과스펙트럼 분석

투과스펙트럼 측정 장치를 이용하여 방울토마토의 투과스펙트럼을 나타내면 그림 5와 같다. 측정된 투과스펙트럼의 강도를 살펴보면 580~680 nm와 700 nm 주변에서 큰 변화가 관찰되었는데 이는 가시광선 영역으로 방울토마토의 색도와 색택에 따른 투과스펙트럼의 변화로 판단된다. 실험에 사용된 시료는 Green 단계에서부터 서서히 표면의 색상이 붉은 색을 띠는 Red 단계까지 수확되었기 때문에 리코펜과 카르테노이드 계열의 색소가 Red 단계로 갈수록 많이 침착되는데 이러한 변화가 투과스펙트럼에도 반영되어 나타나게 된다 (Polder et al., 2004).

ElMasry 등(2008)이 연구한 결과에서 840 nm와 960 nm

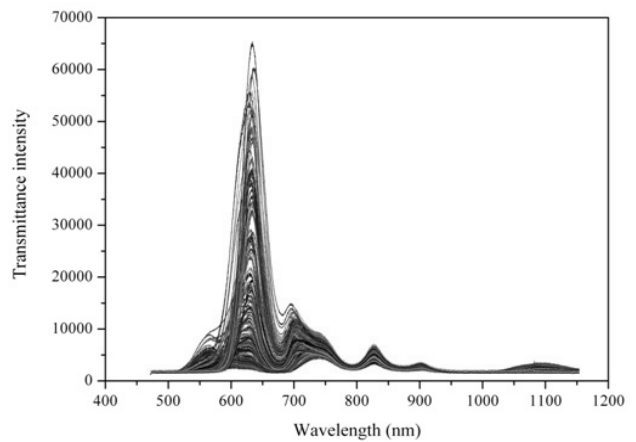


Fig. 5 Total transmittance spectra of cherry tomatoes.

Table 2 Transmittance dataset and static analysis

Characteristic	set	Items			
		No.	Range	Mean	Std. dev.
Firmness (kgf)	Calibration	119	4.76 ~ 27.17	12.26	5.28
	Prediction	60	5.59 ~ 24.90	12.52	5.06
Sugar content (°Brix)	Calibration	120	4.20 ~ 8.90	6.03	0.92
	Prediction	60	4.40 ~ 8.10	6.06	0.96
Titrateable acidity (%)	Calibration	120	0.58 ~ 1.93	1.26	0.34
	Prediction	60	0.64 ~ 2.11	1.29	0.33

에서 당과 수분에 의한 피크가 나타난다고 보고된 바 있는데 본 연구에서도 비슷한 영역인 840 nm와 910 nm에서 투과스펙트럼 피크를 확인할 수 있었다.

나. 전처리별 모델 개발 결과

투과스펙트럼과 경도, 당도 및 산 함량에 대한 PLSR 예측 모델의 결과는 표 3과 같다. 예측모델은 SEC와 결정계수(R_c^2)를 구하였으며, 교차검증(cross validation)을 실시하여 SEP와 결정계수(R_v^2)를 구하여 성능을 나타내고 각각의 전처리별로 비교하였다. PLSR을 실시한 결과 전처리를 수행한 예측모델에서 결정계수가 높고 SEC, SEP가 낮은 모델을 확인할 수 있었으며 산 함량을 제외한 경도와 당도에서 우수한 예측모델이 확인되었다.

Shao 등(2007)은 토마토의 비파괴 품질 측정을 위해 개발

된 예측모델에서 SEC와 SEP의 큰 차이를 보일 경우 너무 많은 factor를 가지거나, 노이즈가 포함되어 모델링될 수 있다고 하였다. 본 연구의 예측모델에서 특히 미분의 경우가 SEC와 SEP의 큰 차이를 보였다. 따라서 프로그램에서 미분 전처리를 수행할 때 평활화(smoothing)의 개수를 조정하였다. 이때 예측모델의 결정계수는 높아지는 경향을 보이거나 factor의 수가 증가하여 예측모델의 성능저하를 보이는 경우를 확인할 수 있었다. 따라서 Savitzky-Golay의 1차, 2차 미분의 경우 평활화 개수를 3개로 제한하였다.

각 전처리 방법이 원래의 스펙트럼에 주는 영향을 분석하기 위해 전처리한 결과를 그림 6에 나타내었다. 그림에 나타난 바와 같이 전처리를 하지 않은 스펙트럼과 전처리를 수행한 스펙트럼의 경우 최대값과 범위 정규화에서 가장 뚜렷한 스펙트럼의 변화가 관찰되었고 이러한 부분이 예측성능에 영향을 미치는 것으로 유추할 수 있다. 또한 예측모델의 개발에

Table 3 Results of PLSR calibration and full cross validation for firmness, sugar content and acidity with raw data and preprocessed data sets

Preprocessing		Firmness (kgf)				Sugar content (°Brix)				Titratable acidity (%)			
		Cal		Val		Cal		Val		Cal		Val	
		R_c^2	SEC	R_v^2	SEP	R_c^2	SEC	R_v^2	SEP	R_c^2	SEC	R_v^2	SEP
Raw data		0.834	2.1532	0.808	2.3355	0.867	0.3357	0.753	0.4603	0.627	0.2056	0.620	0.2091
Normalization	mean	0.875	1.8669	0.849	2.0736	0.833	0.3760	0.708	0.5008	0.640	0.2020	0.634	0.2052
	maximum	0.864	1.9500	0.843	2.1124	0.676	0.5235	0.549	0.5509	0.731	0.1747	0.666	0.1961
	range	0.867	1.9302	0.845	2.0986	0.725	0.4824	0.666	0.5366	0.667	0.1942	0.647	0.2015
MSC		0.851	2.0429	0.811	2.3186	0.833	0.3763	0.703	0.5048	0.782	0.2097	0.589	0.2175
SNV		0.866	1.9322	0.849	2.0743	0.949	0.1193	0.659	0.3134	0.772	0.1608	0.702	0.1852
Savitzky-Golay	1 st deri.	0.894	1.7193	0.708	2.8782	0.909	0.2772	0.639	0.5565	0.636	0.2029	0.627	0.2071
	2 nd deri.	0.934	1.3575	0.584	3.4341	0.839	0.3697	0.608	0.5803	0.629	0.2050	0.611	0.2116

※ 1st deri. : first derivative, 2nd deri. : second derivative.

R_c^2 : Coefficient of determination of calibration

R_v^2 : Coefficient of determination of validation

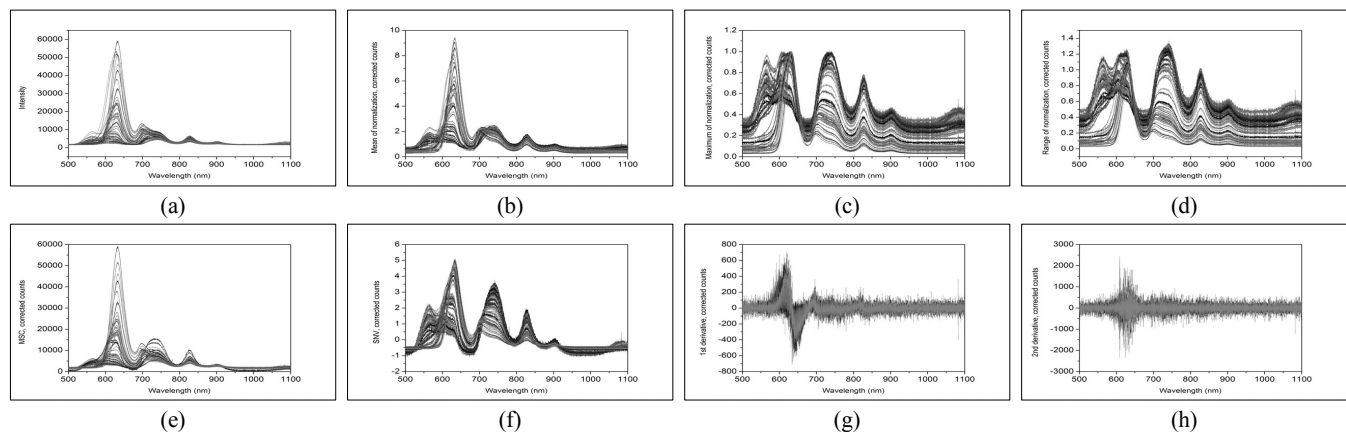


Fig. 6 Preprocessing of transmittance spectral data of validation dataset ((a) raw data, (b) mean (c) maximum and (d) range for normalization, (e) MSC, (f) SNV, (g) Savitzky-Golay 1st derivative (h) Savitzky-Golay 2nd derivative).

Table 4 Results of PLSR prediction for firmness, sugar content and titratable acidity with raw data and preprocessed data sets (validation : 60; geen ~ red stage)

Preprocessing	factor	Firmness (kgf)		factor	Sugar content (°Brix)		factor	Titratable acidity (%)		
		Prediction			Prediction			Prediction		
		R_p^2	SEP		R_p^2	SEP		R_p^2	SEP	
Raw data	7	0.860	1.8828	11	0.820	0.4001	1	0.442	0.2465	
Normalization	mean	7	0.874	1.7945	9	0.869	0.3423	1	0.486	0.2365
	maximum	4	0.852	1.9454	5	0.739	0.4833	7	0.596	0.2095
	range	4	0.859	1.8994	7	0.779	0.4449	4	0.518	0.2291
MSC	8	0.837	2.0110	10	0.804	0.4195	2	0.427	0.2497	
SNV	4	0.856	1.9218	4	0.756	0.4704	7	0.554	0.2203	
Savitzky-Golay	1 st deri.	4	0.777	2.3856	4	0.790	0.4340	1	0.451	0.2444
	2 nd deri.	4	0.635	3.0542	3	0.719	0.5066	1	0.435	0.2480

R_p^2 : Coefficient of determination of prediction

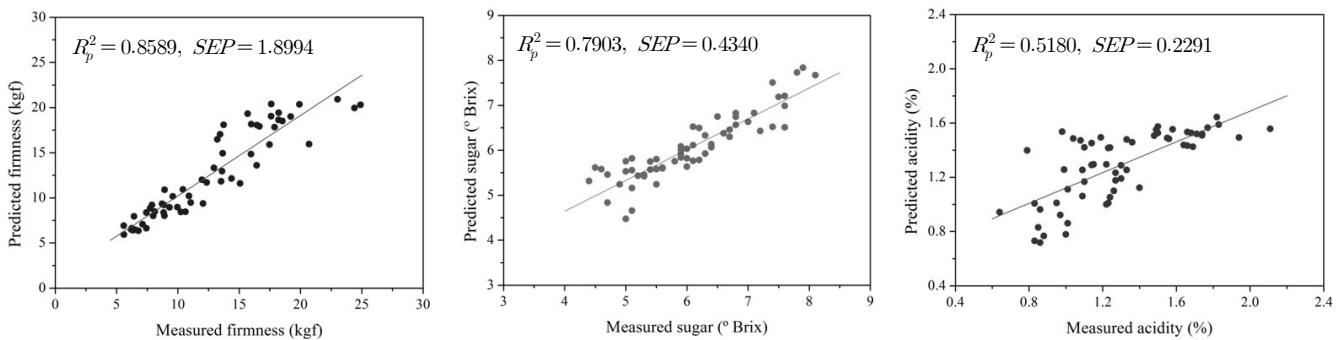


Fig. 7 Graphs of the best results for the prediction of firmness, sugar content, and titratable acidity.

서 결정계수인 R_c^2 와 R_p^2 , SEC와 SEP의 차이가 크게 나타나는 1차, 2차 미분 전처리하는 앞서 언급한 Shao 등(2007)에 의해 보고된 바와 같이 노이즈가 많이 포함되어 있음을 확인할 수 있었다. 특히 당도를 예측한 결과에서 1차 미분의 경우 섹택 및 당성분을 나타내는 600~700 nm 영역과 800~850 nm 영역에서 피크가 확인되었는데 이러한 특정영역에서만 나타나는 섹택적인 피크가 예측 성능에 좋은 결과를 줄 수 있다.

표 4는 표 3에서 개발된 예측모델로 부터 검증 데이터 60 개를 이용하여 검증한 결과를 나타낸 것이다. 여러 전처리 중에서 가장 좋은 결과를 나타낸 것은 경도의 경우 factor 수가 4인 범위 정규화 전처리한 경우로서, 결정계수가 0.859이며, SEP가 1.899 kgf로 나타났다. 당도의 경우는 결정계수가 0.869로 높고 SEP가 0.342 °Brix로 낮은 평균 정규화 전처리에서 좋은 결과가 예상되지만 factor 수가 9로 높아서 모델의 안전성 측면에서 본다면 Savitzky-Golay 1차 미분의 경우가 factor 수 4와 결정계수 0.790, SEP가 0.434 °Brix로 평균 정규화보다 유리할 것으로 판단된다. 산 함량은 내부인자 중 가

장 낮은 예측 결과를 확인 할 수 있었는데 범위정규화 전처리에서 factor가 4이며, 결정계수가 0.518, SEP가 0.229%로 다른 전처리보다 좋은 결과를 확인할 수 있었다. 표 4의 결과를 토대로 각각의 전처리에서 가장 좋은 예측모델로 평가한 경도와 당도, 산 함량을 예측한 결과 값은 그림 7에 나타난 바와 같다.

다. 숙성된 시료에 대한 예측모델 성능평가

방울토마토는 다른 과실에 비해 수확 후 속도의 진행이 빠른 특징을 가지고 있어 저장할 수 있는 기간이 짧으며 그에 따른 신선도 저하가 발생하므로 일반적으로 착색이 시작되는 시점에 수확하여 유통되고 있다(Kim, 2009). 따라서 국내 소비 및 수출국으로 이송과 유통되는 기간을 고려해서 성숙이 완전히 진행되지 않은 방울토마토도 수확하여 선별해야 하는 경우도 있으므로 전체 속도에 해당하는 6등급을 이용하여 예측모델 개발을 먼저 하였다. 이와 함께 착색이 시작되는 시점인 Pink 단계에서 Red 단계까지의 방울토마토만을 이용하여 예측모델을 개발하고 성능 평가하여 결과를 표 5에 나타내었다.

Table 5 Result of PLSR prediction for firmness, sugar content and titratable acidity with raw data and preprocessing (cal : 60, val : 30 ; pink ~ red stage)

Preprocessing	factor	Firmness (kgf)		factor	Sugar content (°Brix)		factor	Titratable acidity (%)		
		Prediction			Prediction			Prediction		
		R_p^2	SEP		R_p^2	SEP		R_p^2	SEP	
Raw data	3	0.573	1.5051	10	0.811	0.3681	1	0.330	0.2022	
Normalization	mean	3	0.620	1.4027	10	0.880	0.2972	1	0.377	0.1949
	maximum	3	0.772	1.1048	2	0.667	0.4870	2	0.429	0.1860
	range	9	0.809	1.0108	5	0.685	0.4778	8	0.214	0.2527
MSC	4	0.623	1.4149	11	0.776	0.4166	2	0.388	0.1933	
SNV	11	0.683	1.2996	10	0.815	0.3796	1	0.400	0.1910	
Savitzky-Golay	1 st deri.	2	0.432	1.7461	3	0.794	0.3992	1	0.377	0.1950
	2 nd deri.	2	0.453	1.7122	4	0.770	0.4220	2	0.430	0.1847

표 5에서는 경도의 예측성능은 최대값 정규화 전처리 예측 모델이 결정계수가 0.772이며, SEP가 1.141 kgf로 가장 좋은 예측모델로 확인되었고, 당도의 경우 Savitzky-Golay의 1차 미분 전처리 모델이 결정계수가 0.794이며 SEP가 0.399 °Brix로 가장 좋은 예측모델이었다. 산 함량의 경우 표 4에서의 예측성능과 다르게 Savitzky-Golay의 2차 미분 전처리 예측 모델이 결정계수가 0.430이며, SEP가 0.185 %로 가장 좋은 예측모델임을 확인할 수 있었다.

착색이 시작되는 등급인 Pink 단계에서 Red 단계까지의 시료로 예측성능을 평가한 결과에서 당도는 Green부터 Red까지의 전체 숙성 시료를 이용한 결과와 비교해 볼 때 높은 결정계수와 낮은 SEP를 보였으나 경도와 산 함량의 경우는 다소 낮은 결정계수를 보였다. 그러나 SEP값은 오히려 낮게 나타났다. 위의 결과로 볼 때 착색이 어느 정도 진행된 Pink 이후의 방울토마토만을 사용하여 PLSR 예측모델의 개발 및 성능평가를 수행하여도 내부 품질예측 성능에는 큰 영향이 없는 것으로 판단되었다.

4. 요약 및 결론

본 연구는 방울토마토의 투과스펙트럼을 이용하여 측정된 가시광선 및 근적외선 대역의 투과스펙트럼으로 경도와 당도, 산 함량 등의 내부품질인자의 예측 가능성을 평가하였다. 본 연구에서 사용된 스펙트럼 전처리 기법은 예측 성능을 높이는 데 효과가 있었다. 전체 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 투과스펙트럼을 획득하기 위하여 가시광선 및 근적외선 대역을 측정할 수 있는 스펙트로미터와 할로겐램프를 설치하고 Optic fiber를 이용하여 방울토마토를 투과한 광을 획득하였다. 측정된 내부품질 인자인 경도와 당도, 산 함량에 대해 PLSR로 투과스펙트럼을 분

석하고 예측모델을 발굴하고 성능을 평가하였다.

- (2) 향상된 예측모델을 발굴하기 위하여 전처리 기법을 사용하였는데 평균과 최대, 그리고 범위 정규화 전처리 기법과 MSC 및 SNV 그리고 Savitzky-Golay 1차, 2차 미분 전처리 기법 총 7가지를 사용하여 예측성능을 비교하였다.
- (3) 경도는 당도 및 산 함량보다 우수한 결과를 보였는데 이는 통계분석에서 나타난 것과 같이 경도의 측정 범위가 큰 영향으로 판단된다. 그 다음으로 당도가 예측성능이 우수하며 산 함량의 경우는 낮은 결과를 보였다. 각 내부품질인자의 예측 결과를 살펴보면 경도는 결정계수가 0.859이고 SEP가 1.899 kgf인 범위정규화의 전처리에서 가장 좋은 결과가 나타났다. 당도의 경우, 결정계수가 0.790이며, SEP가 0.434 °Brix로 Savitzky-Golay 1차 미분의 전처리에서 가장 좋은 결과를 보였다. 산 함량의 경우, 결정계수가 0.518이며, SEP가 0.229%로 범위 정규화 전처리모델에서 다른 전처리모델 보다 좋은 결과를 확인할 수 있었다.
- (4) 착색이 진행된 Pink, Lighth-red, Red 단계의 시료에 대해서 분석한 결과 시료전체를 이용한 모델의 예측성능 보다는 경도 및 산 함량의 경우 결정계수가 다소 낮았지만 오차는 오히려 낮아 성숙도에 따른 시료선택이 품질예측에 큰 영향을 주지 않았다.

현재 국내에서 생산되는 방울토마토는 드럼식 크기선별기를 이용하여 대부분 크기기준으로 선별되고 있으며 맛과 관련된 내부품질을 기준으로 선별되고 있지 않다. 고품질 방울토마토의 선별과 공급에 기여할 수 있는 기술 도입이 필요한 실정이다. 본 연구는 향후 개발될 방울토마토 자동선별시스템의 내부품질 계측 기술에 기여 할 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 농림수산식품부 농림기술개발사업의 지원에 의해 이루어진 것임.

참 고 문 헌

1. ASABE. 2009. Compression test of food materials of convex shape. ASAE Standard 368.4 DEC2000 (R2008). 679-686.
2. Choi, C. H., K. J. Lee and B. S. Park. 1997. Prediction of Soluble Solid and Firmness in Apple by Visible/Near-Infrared Spectroscopy. J. of the Korean Society for Agricultural Machinery. Vol. 22, No. 2, 256-265. (In Korean)
3. Choi, W. S., K. T. Hwang and K. M. Kim. 2009. Prolongation of Cherry Tomato Shelf-life Using Perforated Film Packaging. Korean J. Food Preserv. Vol. 16, No. 2, 139-146. (In Korean)
4. Dull, G. G., R. G. Leffler, G. S. Birth and D. A. Smittle. 1992. Instrument for non-destructive measurement of soluble solids in honeydew melons. Trans. Am. Soc. Agric. Eng. Vol. 35, 735-737.
5. ElMasry, G., N. Wang, C. Vigneault, J. Qiao and A. Elsayed. 2008. Early detection of apple bruises on different background colors using hyperspectral imaging. Society of Food Science and Technology. Vol. 41, No. 2, 337-345.
6. Kawano, S., H. Watanabe and M. Iwamoto. 1992. Determination of Sugar Content in Intact Peaches by Near Infrared Spectroscopy. J. Japan. Soc. Hort. Sci. Vol. 61, No. 2, 445-451.
7. Kim, D. Y. and B. K. Cho. 2009. Study on Quality Measurement of Cherry tomato using Color Imaging. Proceedings of the Korean Society Agricultural Machinery 2009 Winter Conference. Vol. 14, No. 1, 382-386 (In Korean)
8. Kim, Y. S. 2009. Integrated Tomato Production Management. 273-285. (In Korean)
9. Kim, Y. T. and S. R. Suh. 2008. Comparison of Performance of Models to Predict Hardness of Tomato using Spectroscopic Data of Reflectance and Transmittance. J. of Biosystems Eng. Vol. 33. No. 1. 63-68. (In Korean)
10. Lee, K., W. Choi, K. Choi and S. Noh. 2004. Determination of Sugar Contents of Apples by VIS/NIR Transmittance Spectroscopy. Proceedings of the Korean Society Agricultural Machinery 2004 Summer Conference. Vol. 9, No. 2, 258-261. (In Korean)
11. Lu, R. F., D. E. Guyer and R. M. Beaudry. 2000. Determination of firmness and sugar content of apples using near-infrared diffuse reflectance. J. of Texture Studies. Vol. 31, No. 6, 615-630.
12. Nicolai, B. M., K. Beullens, E. Bobelyn, A. Peirs, W. Saeys, K. I. Theron and J. Lammertyn. 2007. Nondestructive measurement of fruit and vegetable quality by means of NIR spectroscopy: A review. Postharvest Biology and Technology. Vol. 46, 99-118.
13. Noh, S. H. and D. S. Ryu. 2002. Preprocessing of Transmitted Spectrum Data for Development of a Robust Non-destructive Sugar Prediction Model of Intact Fruits. J. of the Korean Society for Nondestructive Testing. Vol. 22, No. 4, 361-368. (In Korean)
14. Polder, G., G. W. A. M. van der Hekjden, H. van der Voet and I. T. Young. 2004. Measuring surface distribution of carotenes and chlorophyll in ripening tomatoes using imaging spectrometry. Postharvest Biology and Technology. Vol. 34, No. 2, 117-129.
15. Ryu, D. S., I. G. Hwang and S. H. Noh. 2000. Pre - Processing Techniques on VIS / NIR Spectral Data for Non - Destructive Quality Evaluation of Fruits. Proceedings of the Korean Society Agricultural Machinery 2000 Winter Conference. Vol. 5, No. 1, 451-456. (In Korean)
16. Shao, Y., Y. He, A. H. Gomez, A. G. Pereir, Z. Qiu and Y. Zhang. 2007. Visible/near infrared spectrometric technique for nondestructive assessment of tomato 'Heatwave' (lycopersicon esculentum) quality characteristics. J. of Food Eng. Vol. 81, No. 4, 672-678.
17. USDA. 1997. United states standards for grades of fresh tomatoes. United States Department of Agriculture, Agricultural Marketing Service, Washington DC.