

## 초분광 영상을 이용한 송이토마토의 비파괴 품질 예측

김대용<sup>1</sup> · 조병관<sup>1\*</sup> · 김영식<sup>2</sup>

<sup>1</sup>충남대학교 바이오시스템기계공학과, <sup>2</sup>상명대학교 식물산업공학과

### Non-destructive quality prediction of truss tomatoes using hyperspectral reflectance imagery

Dae-Yong Kim<sup>1</sup>, Byoung-Kwan Cho<sup>1\*</sup>, Young-Sik Kim<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Biosystems Machinery Engineering, Chungnam National University, Daejeon 305-604, Korea

<sup>2</sup>Department of Plant Industry Engineering, Sangmyung University, Cheonan 110-743, Korea

Received on 20 June 2012, revised on 19 September 2012, accepted on 25 September 2012

**Abstract** : Spectroscopic measurement method based on visible and near-infrared wavelengths was prominent technology for rapid and non-destructive evaluation of internal quality of fruits. Reflectance measurement was performed to evaluate firmness, soluble solid content, and acid content of truss tomatoes by hyperspectral reflectance imaging system. The Vis/NIR reflectance spectra was acquired from truss tomatoes sorted by 6 ripening stages. The multivariable analysis based on partial least square (PLS) was used to develop regression models with several preprocessing methods, such as smoothing, normalization, multiplicative scatter correction (MSC), and standard normal variate (SNV). The best model was selected in terms of coefficient of determination of calibration ( $R_c^2$ ) and full cross validation ( $R_{cv}^2$ ), and root mean standard error of calibration (RMSEC) and full cross validation (RMSECV). The results of selected models were 0.8976 ( $R_p^2$ ), 6.0207 kgf (RMSEP) with gaussian filter of smoothing, 0.8379 ( $R_p^2$ ), 0.2674°Bx (RMSEP) with the mean of normalization, and 0.7779 ( $R_p^2$ ), 0.1033% (RMSEP) with median filter of smoothing for firmness, soluble solid content (SSC), and acid content, respectively. Results show that Vis / NIR hyperspectral reflectance imaging technique has good potential for the measurement of internal quality of truss tomato.

**Key words** : Truss tomato, Hyperspectral imaging, Non-destructive measurement, Internal quality

## I. 서론

토마토는 크기, 형태 및 용도에 따라 여러 종류로 나눌 수 있으며, 그 중에서도 먹기에 알맞은 크기와 리코펜 함량이 높은 방울형 토마토의 소비가 증가하는 추세이다(Rho et al., 2006). 국내에서는 아직 생소하지만 최근 소비가 증가되고 있는 방울형 토마토의 일종인 송이토마토는 송이째로 수확한다고 하여 송이토마토로 불리며 방울토마토보다 풍부한 리코펜 성분 함량과 상온에서 저장 기간이 길어 재배되는 과정에서 방울토마토보다 노동력을 절감할 수 있는 장점이 있다. 미국과 유럽 등에서는 2000년 초반부터 토마토 생산자의 50% 이상이 송이토마토의 수확을 선호하

여 수확량 및 재배지가 증가하여 왔으며, 최근 국내에서도 송이토마토를 수출 품목으로 육성하고 있어 시설 및 재배지 증가가 예상되고 있다(Jang et al., 2000; Kim et al., 2010; Lee et al., 2010).

최근 소비자의 농산물에 대한 선호도는 크기, 형태, 색채 등의 외관 중심의 품질에서 맛, 기능성 영양성분 함량, 안전성 등을 고려한 내부품질에 더욱 관심이 높아지는 추세이다(Kim et al., 2010). 현재 농산물의 고품질 측정에는 화학적 분석 방법을 이용한 다양한 기술이 있으나 시간 및 비용 소모와 전수조사가 어렵고 무엇보다도 파괴된다는 단점이 있다(Gomez et al., 2006). 내부품질의 비파괴적 신속측정 방법을 개발하기 위해 많은 연구들이 시도되고 있는데 특히 분광분석 기술이 주목을 받고 있다. 비파괴적 분광분석 측정 방법을 이용할 경우 대상 농산물에 전혀 영

\*Corresponding author: Tel: +82-42-821-6715

E-mail address: chobk@cnu.ac.kr

향을 주지 않으며, 전처리 없이 빠르게 품질측정 및 전수조사 가능하게 된다(Jha and Matsuoka, 2004).

비파괴 분광분석 방법은 시료에 광을 조사하여 시료 내부를 통과한 투과광을 이용하는 투과방식과 시료를 침투한 빛이 표면 근처의 입자들과 반응한 후 여러 방향으로 확산되어 나오는 반사광을 이용하는 반사방식이 농산물의 품질 측정에 보편적으로 활용되고 있다(Lee et al., 2004). 최근에는 이미지와 스펙트럼을 동시에 측정할 수 있는 초분광 영상 기술이 분광분석 기술로 각광을 받고 있는데, 초분광 영상을 이용하면 한 점에서 획득하는 기존의 반사스펙트럼과는 달리 시료의 세부 공간에 대한 분광 정보를 얻을 수 있어 보다 정확하고 다양한 품질 구명이 가능하게 된다.

초분광 영상 기술을 이용한 최근 연구 동향은 온라인으로 제작된 초분광 영상 시스템으로 사과의 정도 및 당도 예측에 관한 연구(Mendoza et al., 2011; Noh and Lu, 2010), 토마토의 표면 크랙 검출에 관한 연구(Lee et al., 2011), 배의 초기 성숙을 산 함량으로 예측하는 연구(Miao et al., 2011), 닭고기 표면의 오염 검사 및 검출을 위한 연구(Cho et al., 2007) 등 다양한 분야에 적용되고 있다. 본 연구에서는 광을 반사시켜 영상으로 분광정보를 획득하는 초분광 반사영상 기법을 통해 반사분광을 측정하는 방법을 사용하여 최적의 송이토마토의 초분광 영상에서 추출된 반사스펙트럼을 이용하였으며 내부품질 인자인 정도, 당도, 산 함량을 측정하여 예측모델을 구축하고 예측성능을 비교하였다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 실험재료

실험을 위해서 충남 논산에서 수경으로 재배한 송이토마토 (*Lycopersicon esculentum L.*) 'Amoroso' 품종을 사용하였다. 실험 당일 재배지를 방문하여 Table 1과 같이 USDA

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

Class	Description <sup>1)</sup>
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

<sup>1)</sup>All percentages refer to both color distribution and intensity.

칼라차트(USDA, 1997)를 기준으로 Green(GN), Breaker(BK), Turning(TN), Pink(PK), Light-red(LR), Red(RD) 속도 등급으로 나누어 직접 수확하였다. 반사스펙트럼에 사용된 송이토마토는 등급별로 25개씩 총 150개이다.

### 2. 실험방법

#### 가. 초분광 반사영상 측정

송이토마토의 반사 분광특성을 측정하기 위해 이용된 초분광 반사광 영상 시스템은 Fig. 1과 같다. 영상 획득 장치는 이미징 스펙트로그래피(VNIR Concentric Imaging Spectrograph, Headwall photonics, USA)가 장착된 EMCCD (Electron multiplying charge coupled device) 카메라 (Luca RDL-604M, Andor Technology, USA)와 C-mount 렌즈(F1.9 35 mm compact lens, Schneider Optics, USA)로 구성되며 프레임당 1004 × 1002 픽셀의 정보가 저장된다. 시료에 광을 고르게 조사하기 위하여 6개의 100 W 할로겐램프(LS-F100HS-IR, SEOKWANG OPTICAL Co.,

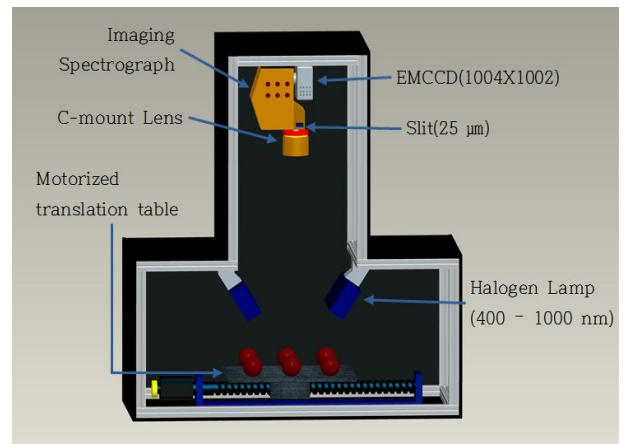


Fig. 1. Schematic of the hyperspectral reflectance imaging system.

LTD, Korea)를 앞 뒤로 2set(set 당 3개)를 배치하였다. 초분광 영상은 라인스캔으로 촬영되므로 시료가 일정한 간격으로 이동할 수 있도록 스테핑모터(XN10-0180-M02-21, VELMEX INC, USA)를 이용하여 시료 이송부를 제작하였다. 획득한 초분광 반사 영상은 특정한 면적을 파장별로 세밀하게 촬영한 대용량 정보이므로 이 정보에서 원하는 특정 공간의 분광정보를 추출하여 활용하면 된다. 초분광 반사영상에서 송이토마토 영역만 추출한 분광 정보를 분석에 사용하였고 반사분광 영역은 400-1000 nm 영역이며, 스펙트럼 해상도는 5 nm이었다.

초분광 반사 시스템의 설정은 이미징 라인스캔의 획득을 위해 제작된 프로그램(Visual basic ver. 6.0, Microsoft, USA)을 이용하여 노출시간 6 ms로 하였고, 공간해상도는 0.5 mm로 설정하였다. 총 400라인을 스캔하여 200 mm 길이의 영상을 획득하였다. 초분광 반사광 영상은 송이토마토를 촬영하기 전에 White reference와 Dark reference를 측정하였다. White reference는 99%의 반사율을 가지는 Teflon board를 이용하였으며 Dark reference는 할로겐램프의 전원을 차단하고 카메라 렌즈를 닫아 입력되는 광이 없도록 하여 측정하였다. 측정된 송이토마토의 반사율( $R$ )은 아래의 식 (1)과 같다.  $R_i$ 는 송이토마토를 촬영한 광도 값이며,  $D$ 는 Dark reference,  $W$ 는 white reference의 광도 값이다. 측정된 송이토마토의 반사스펙트럼은 전체 영상으로부터 토마토 열매부분에 해당하는 스펙트럼 정보만 추출하고 평균 처리한 다음 내부품질 예측을 위한 PLS 회귀분석에 사용하였다.

$$R(\%) = \frac{R_i - D}{W - D} \times 100 \quad (1)$$

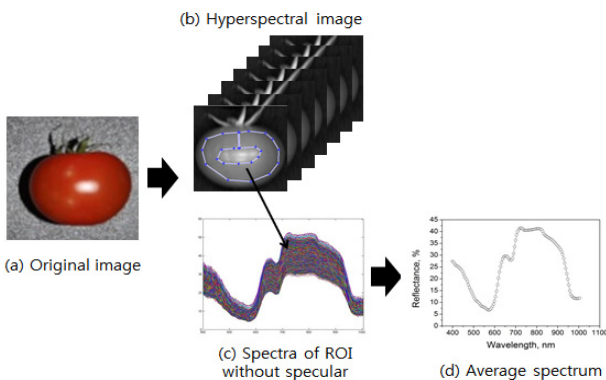


Fig. 2. Procedure for acquiring reflectance spectra from hyperspectral images.

초분광 영상으로부터 반사스펙트럼을 획득하는 과정은 Fig. 2에 나타내었다. 그림 2에 나타낸 바와 같이 측정된 송이토마토의 초분광 영상에서 그림 2(c)처럼 특이하게 반사율이 높은 정반사(Specular) 부분을 제외하고 나머지 과육부분의 스펙트럼을 선택하고 평균하면 그림 2(d)와 같다. 이러한 방식으로 총 150개의 송이토마토를 촬영하고 같은 수의 스펙트럼을 획득하였다.

#### 나. 내부품질 측정

내부품질 측정은 반사스펙트럼을 획득한 후 파괴적 방법으로 경도, 당도, 산 함량을 측정하였다. 경도는 만능재료 시험기(SY-T-001, Sunyoung Systech Co., Korea)를 이용하여 압축강도를 측정하였다. 실험에는 평판지그를 이용하여 압축하였으며 하중재하속도는 미국농공학회(ASABE S368.4 DEC 2000)에서 제시한 속도범위를 참고하여 15 mm/min으로 설정하였다. 경도는 송이토마토가 파괴될 때의 압축강도를 경도 값으로 사용하였다. 경도 측정 후 과육 조직을 균질하게 분쇄하고 체를 이용하여 과즙에서 고형 성분을 제거한 뒤 굴절당도계(PR-32 $\alpha$ , ATAGO, Japan)로 당도를 측정하였다. 남은 과즙은 pH미터(Orion 3star, Thermo Scientific, USA)와 디지털 뷰렛(Digital Burette, Brand, Germany)으로 송이토마토의 주산인 구연산의 농도를 식 (2)와 (3)과 같이 계산하여 산 함량 값으로 이용하였다.

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

$$AC(\%) = N' \times 64.04 \times 1/1000 \times 100 \quad (3)$$

Where,  $N$  : Concentration of NaOH

$V$  : Volume of NaOH

$N'$  : Acid concentration of sample

$V'$  : Volume of sample

$AC$  : Concentration of acidity in the 100 ml

Citric acid M.W. : 64.04/1N

### 3. 실험 분석

#### 1. 내부품질 예측모델 개발

농산물 측정의 경우 표면의 광산란과 시스템 구성 방식에

따라 광 경로에 변이가 발생하여 스펙트럼이 영향을 받게 된다. 또한 측정 센서 자체의 노이즈가 포함되거나 주변 온도의 변화에 따라 스펙트럼의 변이가 발생한다. 이러한 변이는 내부품질 예측 성능을 저하시키는 오차요인이 된다. 따라서 전처리 기법을 이용하여 이러한 오차요인을 제거하여 신뢰성 있는 예측 모델을 개발할 수 있다(Ryu et al., 2000). 본 연구에서는 분광분석에서 많이 활용되고 있는 평활화(smoothing), 정규화(normalization), MSC(Multiplicative Scatter Correlation), SNV(Standard Normal Variate) 등을 활용하여 송이토마토 내부품질 모델을 개발하고자 하였다.

반사스펙트럼을 이용한 내부품질 예측모델을 개발하기 위하여 부분최소자승(Partial Least Square; PLS) 회귀 분석을 적용하였다. PLS 분석은 독립변수(independent variables)인 스펙트럼 데이터를 이용하여 종속변수(dependent variables)인 실제 측정된 인자와의 선형 회귀모델을 개발하는 것으로 다변량의 독립변수를 새로운 변수로 축소하고 이를 이용하여 회귀식을 구하여 예측모델을 개발하는 것이다(Haaland et al., 1988; Lim et al., 2011).

본 연구에서는 파괴적으로 측정된 경도, 당도, 산 함량의 내부품질 인자를 종속변수로 선정하고 반사스펙트럼을 독립변수로 이용하였다. 각각의 종속변수들은 등급별로 측정값의 차이가 발생하므로 등급내의 일정한 수를 모델 개발과 검증용으로 나누었다. 나누어진 전체 시료는 7:3 비율로 105개를 예측모델 개발에 사용하고 45개는 모델 검증에 이용하였다. 모델 개발과 검증에 사용된 시료의 통계적 분석

은 Table 2에 나타내었다. 예측모델 개발은 다변량 분석 소프트웨어(Unscrambler ver 9.7, Camo Co., Norway)를 이용하였다.

## 2. 최적 예측모델의 선정

PLS 회귀식은 일반적으로 상관계수( $r$ , Coefficient of correlation), 결정계수( $R^2$ , Coefficient of determination), RMSEC(Root mean standard error of calibration), RMSECV(Root mean standard error of cross validation), PLS factor 등을 고려하여 예측모델의 성능을 평가하게 된다(Gomez et al., 2006; Liu et al., 2010). 본 연구에서 가장 우수한 예측모델의 선정은 예측모델의 결정계수( $R_c^2$ ,  $R_{cv}^2$ )와 RMSEC, RMSECV를 고려하여 평가하였다. 예측모델 선정의 우선순위는 전처리를 실행한 예측모델의 결정계수의 높은 순으로 하였고 이 결정계수가 비슷하여 우위를 평가하기 어려운 경우에는 full cross validation의 결정계수가 높은 모델을 우선으로 선택하는 방식을 적용하였다.

## III. 결과 및 고찰

### 1. 반사스펙트럼 분석

송이토마토의 반사스펙트럼을 Fig. 3에 나타내었다. 그림 3에 나타낸 바와 같이 400 - 1000 nm의 반사스펙트럼을 각각의 송이토마토 등급별로 평균하여 나타내었다. 특

**Table 2.** Hyperspectral reflectance dataset and static analysis.

Characteristic	Item	Calibration	Prediction
Firmness (kgf)	No.	105	45
	Range	88.46 - 11.20	90.72 - 10.56
	Mean	36.89	36.99
	Std. Dev.	18.69	19.03
Soluble solid content (°Bx)	No.	105	45
	Range	6.9 - 4.1	6.9 - 4.1
	Mean	5.20	5.20
	Std. Dev.	0.67	0.68
Acid content (%)	No.	105	45
	Range	1.70 - 0.81	1.70 - 0.80
	Mean	1.24	1.24
	Std. Dev.	0.22	0.22

히 400 - 700 nm 가시광 영역에서 송이토마토의 등급 변화가 스펙트럼에 반영되는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 녹색에 해당하는 550 nm 영역의 반사율이 송이토마토의 수도에 따라 낮아져 RD 등급에서는 최저 반사율이었으며 빨간색에 해당하는 640 nm 영역은 RD 등급에 가까워질수록 반사율이 높게 나타났다. 송이토마토의 성숙이 진행될수록 클로로필의 양은 줄어들고 카르테노이드 계열인 라이코펜이 늘어난다(Lai et al., 2007)고 알려진 바와 같이 클로로필 흡수영역인 685 nm 피크의 광강도에서 속도가 진행될수록 낮아짐을 확인할 수 있다. Elmarsy et al.(2008)는 840 nm와 960 nm 근적외선의 흡수는 당과 수분에 의한 흡수 영역이라고 보고하였는데 본 실험결과와 반사스펙트럼에서도 뚜렷하게 나타나는 것을 확인할 수 있었다.

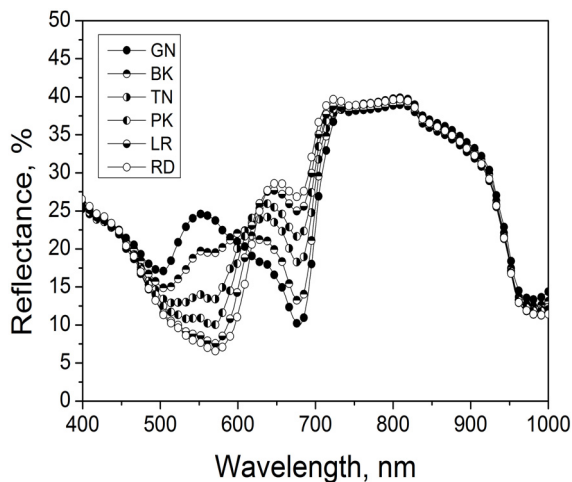


Fig. 3. Mean spectra of hyperspectral imaging system.

## 2. 전처리별 투과 스펙트럼의 최적 모델 개발 결과

Table 3은 반사스펙트럼을 이용하여 경도, 당도, 산 함량의 예측모델을 개발한 결과이다. PLS 예측모델의 결과는 총 9 가지 전처리 기법을 사용하여 결정계수( $R_c^2$ )와 RMSEC 그리고 full cross validation의 결정계수( $R_{cv}^2$ )와 RMSECV, PLS factor를 나타내었다. 예측 성능에서 경도는 SNV에서 가장 높은 예측 성능을 보였다. 결정계수는 0.9333, RMSEC는 4.8056 kgf으로 나타났고 full cross validation에서 결정계수는 0.9153, RMSECV는 5.4678 kgf이었다. 당도는 아무런 처리를 하지 않은 경우에서 가장 좋은 예측 성능을 확인할 수 있었으며 0.8516의 결정계수와 0.2578°Bx의 RMSEC가 확인되었고 full cross validation에서는 0.8258의 결정계수와 0.2820°Bx의 RMSECV가 가장 좋은 결과를 나타내었다. 산 함량도 당도와 같이 아무런 처리를 하지 않은 경우 가장 우수한 예측 모델이 확인되었다. 결정계수는 0.8420이며, RMSEC는 0.0866%이다. full cross validation의 경우 0.8086의 결정계수와 0.0963%의 RMSECV가 확인되었다.

Table 4는 표 3의 개발된 모델로 독립된 데이터를 이용하여 검증한 결과이다. 결과는 결정계수와 Root mean standard error of prediction(RMSEP)를 이용하여 나타내었으며 결정계수가 높고 RMSEP가 낮은 결과를 우수한 모델로 선정하였다. 경도는 가우시안 필터를 이용한 평활화에서 0.8976의 결정계수와 6.0207 kgf의 RMSEP가 확인되었고 당도의 경우 일정범위를 이용한 정규화 전처리에서 0.8379의 결정계수와 0.2674°Bx의 RMSEP가 확인되었

Table 3. Results of PLS calibration and full cross validation of hyperspectral reflectance for firmness, soluble solid contents and acid contents with and without preprocessing.

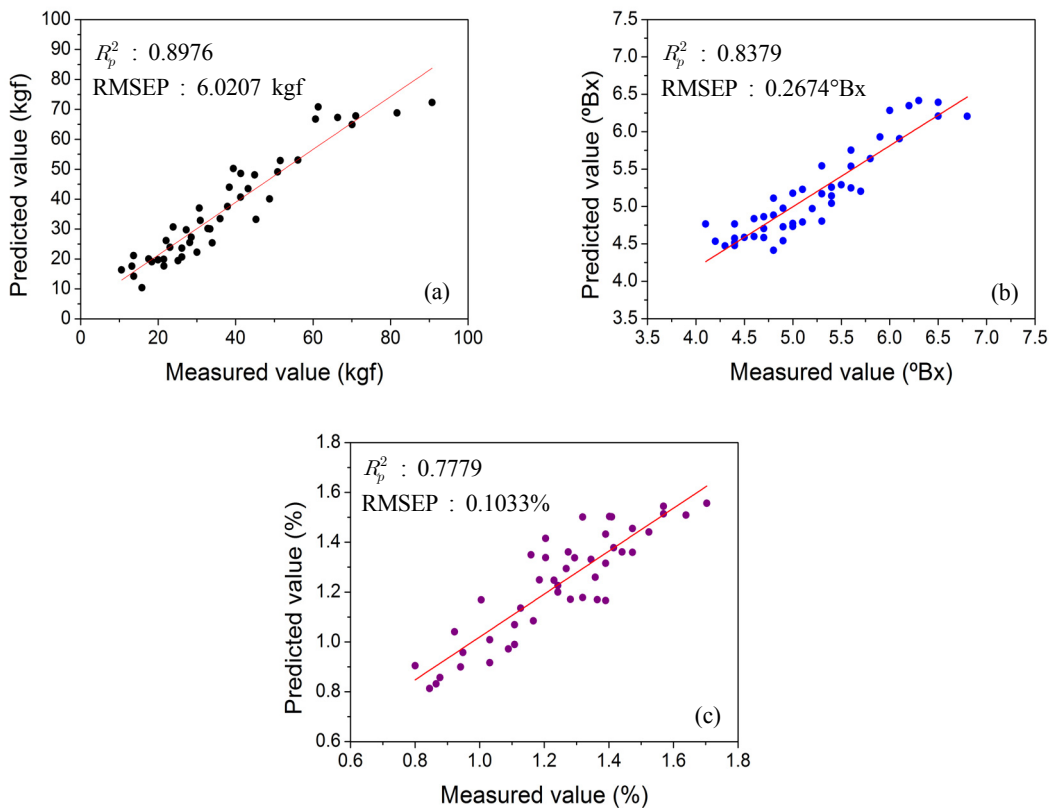
Preprocessing	Firmness (kgf)				PLS factor	Soluble solid contents (°Bx)				PLS factor	Acid contents (%)				PLS factor	
	Calibration		Validation			Calibration		Validation			Calibration		Validation			
	$R_c^2$	RMSEC	$R_{cv}^2$	RMSECV		$R_c^2$	RMSEC	$R_{cv}^2$	RMSECV		$R_c^2$	RMSEC	$R_{cv}^2$	RMSECV		
Raw	0.9061	5.7011	0.8883	6.2768	4	0.8516	0.2578	0.8528	0.2820	4	0.8420	0.0866	0.8086	0.0963	7	
Smoothing	Moving average	0.9051	5.7328	0.8873	6.3056	4	0.8495	0.2596	0.8243	0.2831	4	0.8378	0.0878	0.8031	0.0976	7
	Savitzky Golay	0.9053	5.7251	0.8875	6.3005	4	0.8498	0.2593	0.8245	0.2830	4	0.8374	0.0879	0.8014	0.0980	7
	Median filter	0.9058	5.7101	0.8880	6.2855	4	0.8508	0.2584	0.8253	0.2823	4	0.8406	0.0870	0.8069	0.0967	7
	Gaussian filter	0.9061	5.7010	0.8882	6.2758	4	0.8515	0.2579	0.8256	0.2821	4	0.8404	0.0870	0.8054	0.0971	7
Normalization	Mean	0.9179	5.3324	0.9020	5.8812	5	0.8506	0.2586	0.8387	0.2713	4	0.7845	0.1012	0.7685	0.1059	2
	Maximum	0.9236	5.1427	0.9068	5.7340	5	0.8442	0.2641	0.8290	0.2793	4	0.8379	0.0877	0.8044	0.0973	6
	Range	0.9091	5.6089	0.8914	6.1903	5	0.8436	0.2646	0.8248	0.2827	4	0.7955	0.0986	0.7685	0.1057	4
MSC	0.9065	5.5689	0.8925	6.1593	4	0.8446	0.2638	0.8314	0.2774	4	0.7889	0.1001	0.7718	0.1051	3	
SNV	0.9333	4.8056	0.9153	5.4678	5	0.8450	0.2634	0.8276	0.2805	4	0.8043	0.0964	0.7788	0.1035	4	

다. 산 함량은 미디언 필터를 이용한 평활화에서 가장 좋은 예측 검증이 확인되었으며, 0.7779의 결정계수와 0.1033%의 RMSEP가 확인되었다. 예측 검증의 결과 경도가 가장 우수한 결과를 나타내었으며 산 함량은 가장 낮은 결과를 나타내었다. Zude et al.(2006)의 연구에서도 사과를 대상으로 경도 및 당도를 분광분석으로 예측한 연구에서 경도가 당도보다 높게 나타난 보고와 유사하였고, Kim et

al.(2010)의 가시광 및 근적외선을 이용한 방울토마토의 연구에서도 경도가 가장 높게 나타났고 당도, 산 함량의 순으로 결정계수가 높게 나타난 연구와 유사하였다. 이는 내부 품질 측정의 결과값 범위가 가장 넓은 경도가 반사스펙트럼과 선형성이 높게 나타난 결과로 판단되었으며 상대적으로 결과값 범위가 낮은 당도와 산 함량은 경도에 비해 낮은 선형성으로 판단되었다.

**Table 4.** Results of PLS prediction for firmness, soluble solid contents and acid contents with and without preprocessing.

Preprocessing	Firmness (kgf)		SSC (°Bx)		Acid content (%)		
	$R_p^2$	RMSEP	$R_p^2$	RMSEP	$R_p^2$	RMSEP	
Raw	0.8972	6.0354	0.8287	0.2749	0.7777	0.1033	
Smoothing	Moving average	0.8962	6.0612	0.8264	0.2767	0.7778	0.1032
	Savitzky Golay	0.8970	6.0395	0.8267	0.2765	0.7771	0.1034
	Median filter	0.8972	6.0337	0.8278	0.2755	0.7779	0.1033
	Gaussian filter	0.8976	6.0207	0.8285	0.2751	0.7773	0.1034
Normalization	Mean	0.8908	6.2189	0.8349	0.2698	0.6952	0.1209
	Maximum	0.8890	6.2701	0.8280	0.2745	0.7641	0.1064
	Range	0.8930	6.1579	0.8379	0.2674	0.7146	0.1170
MSC	0.8849	6.3842	0.8207	0.2812	0.6897	0.1220	
SNV	0.8869	6.3304	0.8283	0.2752	0.7174	0.1165	



**Fig. 4.** The best results for firmness (a), soluble solid contents (b), and acid contents (c).



Fig. 4는 표 4의 결과를 토대로 각각의 전처리들 중 가장 좋은 예측 결과를 평가한 정도, 당도 및 산 함량의 결과 그래프이다.

#### IV. 결론

가시광 및 근적외선을 이용한 분광분석 기법은 빠르고, 비파괴적으로 내부 품질을 평가할 수 있는 기술이다. 본 연구에서는 초분광 반사 영상을 이용하여 6 등급으로 구별된 송이토마토의 반사스펙트럼을 획득하고 다양한 전처리를 이용하여 부분 최소 사승법에 기초한 다변량 분석법으로 내부품질 예측 회귀식을 개발하였다. 가장 우수한 모델의 선정은 높은 결정 계수와 낮은 RMSEC, RMSECV를 기준으로 하였다. 예측된 PLS의 결과는 가우시안 필터를 이용한 평활화에서 0.8976의 결정계수와 6.0207 kgf의 RMSEP가 확인되어 가장 우수한 결과이었으며, 당도의 경우 일정범위를 이용한 정규화 전처리에서 0.8379의 결정계수와 0.2674°Bx의 RMSEP로 가장 우수하였으며, 산 함량은 미디언 필터를 이용한 평활화에서 가장 좋은 예측 검증이 확인되었으며, 0.7779의 결정계수와 0.1033%의 RMSEP로 나타났다. 예측 검증의 결과 경도가 가장 우수한 결과를 나타내었으며 산 함량은 가장 낮은 결과를 나타내었다. 가시광 및 근적외선을 이용한 분광분석으로 송이토마토 내부품질 예측 가능성을 확인할 수 있었으며 한 점의 반사스펙트럼을 획득하여 분석하는 기존의 분광분석 방법보다 전체 면을 활용하므로 더욱 객관적인 예측결과를 나타낼 수 있다. 초분광 영상은 영상 처리 기술로 외부의 상처, 병해 등을 영상처리로 판별할 수 있어, 향 후 농산물 선별에 핵심 기술로 자리 잡을 것으로 판단된다.

#### 감사의 글

본 연구는 농림수산식품부 농림기술개발사업의 지원에 의해 이루어진 것임.

#### 참고 문헌

ASABE. 2009. Compression test of food materials of convex shape. *ASAE Standard 368.4 DEC2000 (R2008)*. 679-686.  
 Cho BK, Chen YR, Kim MS. 2007. Multispectral detection of organic residues on poultry processing plant equipment based

on hyperspectral reflectance imaging technique. *Computers and Electronic in Agriculture* 57: 177-189.  
 ElMasry G, Wang N, Vigneault C, Qiao J, ElSayed A. 2008. Early detection of apple bruises on different background colors using hyperspectral imaging. *LWT-Food Science and Technology* 41: 337-345.  
 Gomez AH, He Y, Pereira AG. 2006. Non-destructive measurement of acidity, soluble solids and firmness of Satsuma mandarin using Vis/NIR-spectroscopy techniques. *Journal of Food Engineering* 77: 313-319.  
 Haaland DM, Thomas EV. 1988. Partial Least-Squares Methods for Spectral Analyses. 1. Relation to Other Quantitative Calibration Methods and the Extraction of Qualitative Information. *Analytical Chemistry* 60: 1193-1202  
 Jang SW, Yang TJ, Kim WB. 2000. Planting Space of Truss Tomatoes for Summer Season Cultivation in the Alpine Area. *Korean Journal of Horticultural Science and Technology* 41: 109-113. [in Korean]  
 Jha SN, Matsuoka T. 2004. Non-destructive determination of acid-brix ratio of tomato juice using near infrared spectroscopy. *International Journal of Food Science and Technology* 39: 425-430.  
 Kim DY, Cho BK, Mo CY, Kim YS. 2010. Study on Prediction of Internal Quality of Cherry Tomato using Vis/NIR Spectroscopy. *Journal of Biosystems Engineering*. 35: 450-457. [in Korean]  
 Kim JW, Baek WK, Kim SY, Ko HS, Baek MH, Yun DK. 2010. Comparison of Growth and Fruit Quality of Truss Tomato Cultivars. *Korean Journal of Horticultural Science and Technology* 28: 57-58. [in Korean]  
 Lai A, Snatangelo E, Soressi GP, Fantoni R. 2007. Analysis of the main secondary metabolites produced in tomato (*Lycopersicon esculentum*, Mill.) epicarp tissue during fruit ripening using fluorescence techniques. *Postharvest Biology and Technology* 43: 335-342.  
 Lee HG, Lee HK, Lee MH, Kim GJ, Choi JJ. 2010. Effects of the Concentration of Nutrient Solution on Growth and Qualities of Truss tomato in Hydroponic Culture. *Korean Journal of Horticultural Science and Technology* 28(2): 48-48. [in Korean]  
 Lee KJ, Kang SW, Choi KH. 2004. Nondestructive Quality Measurement of Fruits and Vegetables Using Near-Infrared Spectroscopy. *Food Engineering Progress* 8: 158-169. [in Korean]  
 Lee HS, Kim MS, Jeong DH, Chao K, Cho BK, Delwiche SR. 2011. Hyperspectral near-infrared reflectance imaging for detection of defect tomatoes. *Proc. SPIE* 8027, 80270J (2011); doi:10.1117/12.888098  
 Lim JG, Kang S, Lee K, Mo C, Son J. 2011. Identification of Foreign Objects in Soybeans Using Near-infrared Spectroscopy. *Food Engineering Progress* 15: 136-142. [in Korean]  
 Liu Y, Sun X, Zhang H, Aiguo O. 2010. Nondestructive measurement of internal quality of Nanfeng mandarin fruit by charge coupled device near infrared spectroscopy. *Computers and*

- Electronic in Agriculture 71S: S10-S14.
- Mendoza F, Lu R, Ariana D, Cen H, Bailey B. 2011. Integrated spectral and image analysis of hyperspectral scattering data for prediction of apple fruit firmness and soluble solids content. *Postharvest Biology and Technology* 62: 149-160.
- Miao P, Xue L, Liu M, Li J, Wang X, Luo C. 2011. The Detection of Early-Maturing Pear's Effective Acidity Based on Hyperspectral Imaging Technology. *Computer and Computing Technologies in Agriculture IV. IFIP Advances in Information and Communication Technology* 347: 528-536
- Noh HK, Lu R. 2010. UV/blue Light-induced Fluorescence for Assessing Apple Quality. *Journal of Biosystems Engineering* 35: 124-131. [in Korean]
- Rho IR, Jeong HB, Cheong JW, Kang KH, Lee SC. 2006. Breeding of Cluster Type Tomato 'Geumgwan Gaya' for Protected Cultivation. *Korean Journal of Horticultural Science and Technology* 24: 190-193. [in Korean]
- Ryu DS, Hwang IG, Noh SH. 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]*
- USDA. 1997. United states standards for grades of fresh tomatoes. United States Department of Agriculture, Agricultural Marketing Service, Washington DC, USA.
- Zude M, Herold B, Roger JM, Maurel VB, Landahl S. 2006. Non-destructive tests on the prediction of apple fruit flesh firmness and soluble solids content on tree and in shelf life. *Journal of Food Engineering* 77: 254-260.