

# 토마토 반사광과 투과광 스펙트럼 분석에 의한 경도 예측 성능 비교

김영태 서상룡

## Comparison of Performance of Models to Predict Hardness of Tomato using Spectroscopic Data of Reflectance and Transmittance

Y. T. Kim S. R. Suh

### Abstract

This study was carried out to find a useful method to predict hardness of tomato using optical spectrum data. Optical spectrum of reflectance and transmittance data were collected processed by 9 kind of preprocessing methods-normalizations of mean, maximum and range, SNV (standard normal variate), MSC (multiplicative scatter correction), the first derivative and second derivative of Savitzky-Golay and Norris-Gap. With the preprocessed and non-processed original spectrum data, prediction models of hardness of tomato were developed using analytical tools of PLS (partial least squares) and MLR (multiple linear regression) and tested for their validation. The test of validation resulted that the analytical tools of PLS and MLR output similar performances while the transmittance spectra showed much better result than the reflectance spectra.

**Keywords :** Hardness of tomato, Prediction model, Spectrometric data, Reflectance, Transmittance

### 1. 서론

최근 과실 품질에 대한 소비자들의 관심이 외관품질보다는 내부품질에 관한 관심이 높아지고 있으며, 많은 경우 이러한 과실의 품질을 평가하는 기준으로 경도와 당도를 사용하고 있다(Jen, 1989). 이중 경도는 일반적으로 힘을 측정하는 탐침(probe)을 이용하여 측정대상 작물에 따라 대상 물체의 조직에 압입(penetration)하거나 또는 위에서 아래로 누르는 압착(compression) 방법 등을 사용하는 기계적 방법으로 측정하여 왔다. 최근 국내외에서 여러 가지 과실의 경도를 가시광선(VIS)이나 근적외선(NIR) 영역의 분광기술을 적용하여 비파괴적인 방법으로 측정하는 기술이 개발되고 있으며 그 연구 결과를 보면 다음과 같다. Choi 등(1997)은 VIS/NIR 반사광 스펙트럼을 이용하여 사과와 감의 경도 및 당도를 예측 할 수 있는

PLS (partial least square) 모형을 개발하였는데, 경도의 경우 그 측정이 용이하지 않는 것으로 보고한바 있다. Lammertyn 등(1998)은 Jonagold 품종 사과의 반사광 스펙트럼을 측정하고 당도, 산도 그리고 경도 및 과육의 탄성계수와 같은 품질 인자에 대해 PCA(principle component analysis), PCR (principle components regression), PLS 분석한 결과 PLS 분석이 우수한 결과를 나타내는 것으로 보고하였다. McGlone과 Kawano 등(1998)은 키위의 반사광 스펙트럼을 측정하고 경도와 고형분함량 그리고 수용성고형분 함량을 측정하기 위해 PLS 분석을 수행하였는데 그 결과 고형분 함량과 수용성 고형분 함량에 대한 예측 오차가 작게 나타났으나, 경도의 경우 예측 결과가 좋지 않았음을 보고하였다. Lu 등(2000)은 800~1700 nm 사이의 NIR 반사광 스펙트럼을 이용하여 사과와 감의 경도를 측정하는 예측모형을 PCR 분석하여 개발한 결과 반

This study was supported financially by the Agricultural R&D Promotion Center (ARPC). The article was submitted for publication in January 2008, reviewed and approved for publication by the editorial board of KSAM in February 2008. The authors are Young Tae Kim, KSAM member, Graduate Student, and Sang Ryong Suh, Professor, KSAM member, Institute of Agricultural Science and Technology, College of Agriculture & Life Sciences, Chonnam National University. Corresponding author: Y. T. Kim, Institute of Agricultural Science and Technology, Dept. of Biosystems Engineering, Chonnam National University, Gwangju 500-757, Korea; Fax: +82-62-530-2159; E-mail: <expertsyskr@yahoo.co.kr>.

사광 스펙트럼과 경도는 낮은 상관관계를 보이는 것으로 보고하였으나, 이들은 동일 영역의 반사광 스펙트럼을 이용하여 sweet cherry의 당도와 경도를 PLS 분석하여 높은 상관관계를 갖는 예측모형을 개발한 바 있다(Lu, 2001). Park 등(2002)은 VIS/NIR 반사광 스펙트럼을 이용하여 사과와 당도와 경도를 예측하였는데, 그 결과 경도의 경우 예측 정확도 수준이 그리 높지 않음을 보고한 바 있다. 최근 Lee 등(2007)은 VIS/NIR을 이용한 비파괴 토마토 경도 예측모형 개발을 위해 반사광 스펙트럼을 측정하고 다수의 스펙트럼 전처리를 수행하고 PLS 분석하여 내부품질 예측모형을 개발한 결과 반사광 스펙트럼을 이용한 경도 예측모형의 개발은 가능한 것으로 보고하였다. Suh 등(2007)은 VIS/NIR을 이용한 비파괴 토마토 내부품질 예측 모형 개발을 위해 투과 스펙트럼을 측정하고 다수의 스펙트럼 전처리를 수행하고 PLS 분석하여 내부품질 예측 모형을 개발한 결과 투과 스펙트럼을 이용한 당도의 측정은 가능한 것으로 보고하였다.

이러한 광학적 측정 방법 외에 Ketelaere 등(2003)은 13품종의 토마토를 2주 동안 저장하면서 상업용 음파 경도 측정기를 사용하여 경도 변화를 측정하고 선형 혼합모형을 개발하였다. 그 결과, 모형 개발에 있어서 가장 큰 변수는 품종이었고, 경도 측정 시 측정 오차가 모형 개발에 영향을 주었으며, 음파를 이용한 경도 측정기는 경도가 낮은 토마토에 있어서 그 재현성은 낮은 것으로 보고하였다.

본 연구는 이상의 연구 결과를 기초로 하여 분광분석을 이용하는 비파괴적인 방법으로 토마토 경도를 예측하는 방법을 개발하기 위한 기초연구로서, 토마토의 반사광 스펙트럼 자료를 수집한 다음 동일한 토마토의 투과광 스펙트럼 자료를 수집하고, 이들 스펙트럼을 수종의 전처리(preprocessing)를 적용한 후, PLS 분석과 MLR(multiple linear regression) 분석하여 분광특성별 예측모형을 개발하고 그 성능을 서로 비교하는 방법으로 토마토 경도 예측방법을 찾고자 수행하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 가. 실험 장치

#### 1) 반사광 스펙트럼

본 연구에서 구성한 반사광 스펙트럼 자료수집 장치는 그림 1과 같이 광원과 광원의 빛을 토마토 표면에 조사하고 반사하는 빛을 보내주는 그 단면이 동심원 구조인 광섬유 회로 그리고 이러한 반사광을 분광 측정하는 분광분석기로 구성하였다. 광원은 최대전압 30 V 최대전류 5 A로서 150 W 전력을 사용할 수 있는 직류 power supply(HPS-305G, 한일

T&M)와 100 W 용량의 tungsten-halogen(JCR12V-100WBAU, Ushio, Japan) 전등으로 구성하였다. 광원으로부터 나오는 빛을 시료 표면에 조사하는 광섬유는 유리 광섬유(glass optical fiber(SOG-70, Sumita, Japan))를 사용하고, 시료에서 반사하는 빛을 분광분석기로 보내는 광섬유는 파장 180~1100 nm까지 빛이 통과할 수 있는 pure fused silica 재질의 광섬유(직경 200  $\mu$ m)로 제작하였다. 본 연구에서 사용한 분광분석기는 파장범위 650~1100 nm의 빛을 분광 측정할 수 있는 분광분석기(USB4000, Ocean Optics Inc., U.S.A.)였다.

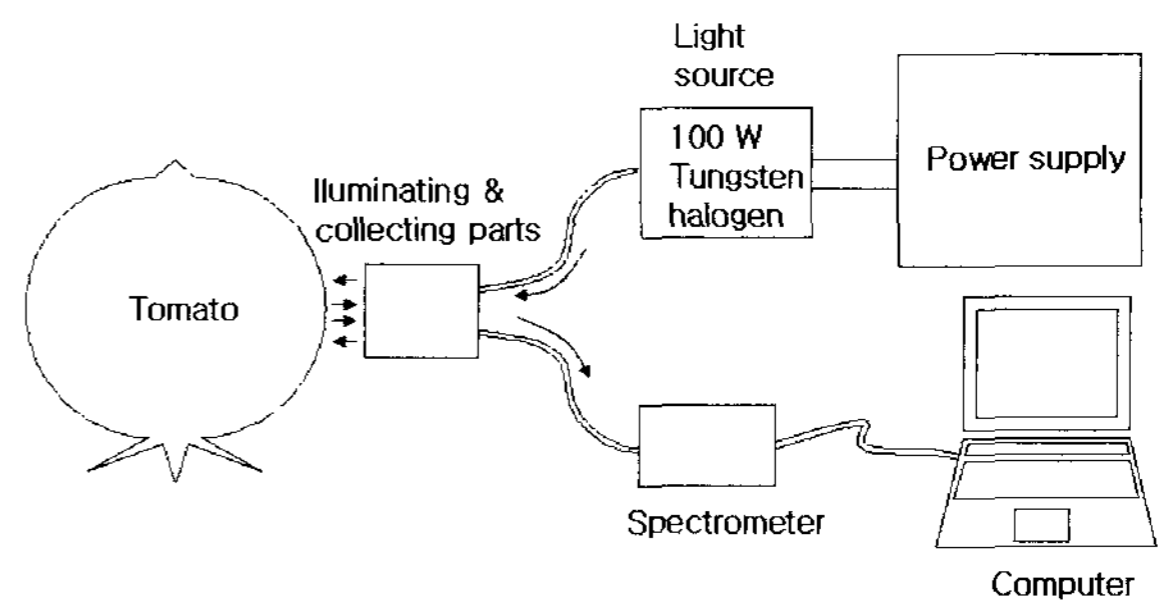


Fig. 1 Schematic diagram of experimental setup to measure reflectance spectrum from a tomato.

#### 2) 투과광 스펙트럼 자료수집 장치

투과광 스펙트럼 자료수집 장치는 그림 2와 같이 광원, 광조사부, 수광부 그리고 분광분석기로 구성하였다. 광원은 디지털 직류 power supply(HPS 3020, 한일 T&M)를 전원으로 사용하는 반사광 스펙트럼 측정장치에서 사용한 것과 동일한 100 W tungsten-halogen 전등 두 개를 광섬유로 병렬 연결하여 사용하였다. 이러한 광원에서 나오는 빛은 광섬유를 사용하여 토마토 표면의 일정 면적에 집중 조사할 수 있도록 하였는데 이는 토마토 표면까지 약 40~50 mm 정도의 거리에서 초점이 맞춰지도록 집광 렌즈를 광 조사부 끝에 부착하였다. 광조사부에서 토마토에 조사하여 투과한 빛은 VIS/NIR 스펙트

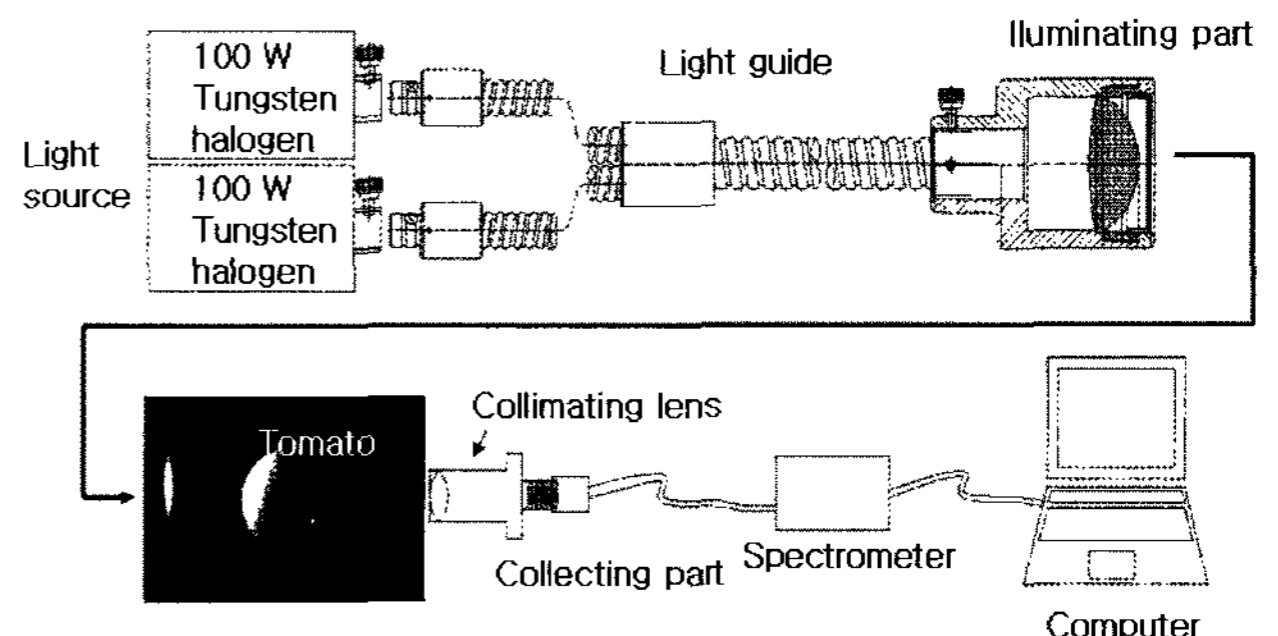


Fig. 2 Schematic diagram of experimental setup to measure transmittance spectrum from a tomato.

럼을 받을 수 있는 광섬유(P-1000-2-VIS/NIR, Ocean Optics Inc., U.S.A.)와 200~2000 nm까지의 스펙트럼을 받아들이는 collimating lens(74-UV, Ocean Optics Inc., USA)를 부착한 수광부를 통과하도록 구성하였다. 이러한 수광부는 반사광 스펙트럼 측정에서 사용한 것과 동일한 분광분석기(USB4000, Ocean Optics Inc., U.S.A.)를 사용하여 투과광 스펙트럼 자료를 수집하였다.

#### 나. 실험 재료

본 연구에서 사용한 공시재료는 전남 장성군 황룡면 소재 토마토 생산 농가에서 재배하고 2007년 4월에 수확한 353개의 슈퍼선로드 품종의 토마토였다.

#### 다. 실험 방법

##### 1) 분광 스펙트럼 자료 수집과 분할

분광 분석할 시료의 분광 스펙트럼 자료를 수집할 경우, 측정 전 기준 값 설정과 시료 표면과 집광 프로브간의 거리를 일정하게 유지하는 것은 그 분광 스펙트럼 자료로부터 개발한 예측모형의 성능을 유지하는데 있어 매우 중요하다(Liu 등, 2007). 본 연구에서는 스펙트럼 자료 수집 전 기준 값 설정을 위하여 반사도가 99%인 표준 반사체(diffuse reflectance standard; Labsphere Inc., U.S.A.)에 집광 프로브를 밀착하여 기준 값을 설정한 다음, 정확한 반사광 스펙트럼 자료 수집을 위한 적정 측정거리를 찾기 위하여 측정거리를 변화하며 99%인 표준 반사체의 반사도를 조사하였다. 적정 측정거리의 결정은 99% 표준 반사체의 반사도를 유지하는 거리로 구하였으며 그 결과 시료와의 측정거리가 최소 6 mm를 유지하여야 할 것으로 조사되었고, 그에 따라 본 연구에서 반사광 스펙트럼의 자료는 항상 이 거리를 유지하며 수집하였다.

한 개 토마토의 반사광 스펙트럼 자료는 그림 3과 같이 토마토를 상부, 중부 그리고 하부로 구분하고 각 위치에서는 서로 120°의 각도를 갖는 3지점을 택하여 총 9지점에서 수집하였다.

토마토의 투과광 스펙트럼은 위에서 설명한 광조사부와 수광부를 일직선상에 위치하고 수광부와 토마토 표면과의 거리를 일정하게 유지하며 토마토 적도 부근에 광을 조사하도록

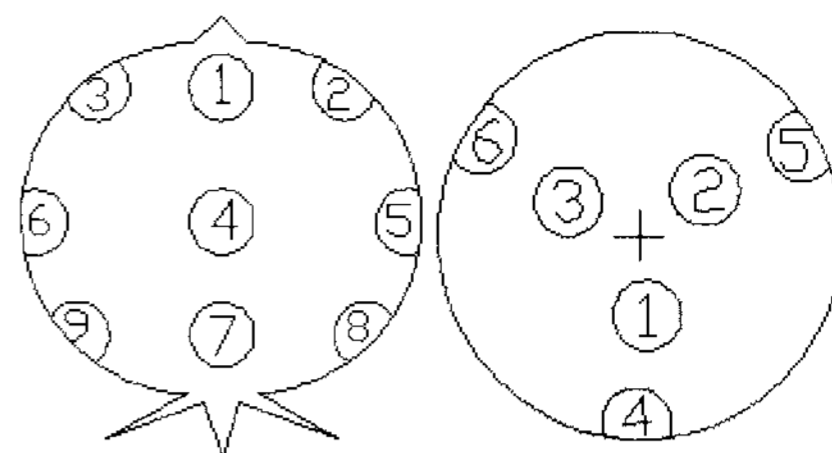


Fig. 3 Positions to collect optical reflectance spectra of a tomato.

고정한 후 외부 빛을 차단하고 측정하였다.

본 연구에서 수집한 반사광 스펙트럼과 투과광 스펙트럼 자료는 경도 예측모형개발용과 개발한 경도 예측모형의 정당성 검증용 자료로 사용하고자 표 1과 같이 무작위로 구분하였다. 표와 같이 수집한 반사광 스펙트럼과 투과광 스펙트럼은 각각 총 3177개와 353개이었고, 이들은 반사광 스펙트럼의 경우 모형 개발용 2421개와 개발 모형의 정당성 검증용 756개로 구분하였고, 투과광 스펙트럼의 경우 모형 개발용 269개와 개발 모형의 정당성 검증용 84개로 구분하였다.

##### 2) 경도 측정

각 토마토의 실제 경도는 토마토 전체의 투과광과 반사광 스펙트럼 자료를 수집한 후 반사광 스펙트럼을 측정할 위치와 동일한 위치(상부, 중부 그리고 하부로 구분한 총 9지점)에서 인장압축시험기(Multi-Test i-1, MecMesin Co., U.K.)를 사용하여 측정하였다. 경도 측정은 직경 12 mm인 probe를 토마토 표면에 직각방향으로 속도는 40 mm/min, 깊이는 6 mm까지 압입하며 측정하였다.

##### 3) 경도 예측모형 개발

분광 스펙트럼을 이용한 경도 예측모형을 개발하기 위하여 본 연구에서는 PLS 분석과 MLR 분석법을 적용하였다. 이중 PLS 분석에 의한 예측모형은 통계분석용 소프트웨어인 The Unscrambler(Ver. 9.7, Camo Inc., Norway)를 사용하여 개발하였고, MLR 분석에 의한 예측모형은 SAS(Ver 9.2, SAS Insti., USA)를 사용하여 개발하였다. 반사광 스펙트럼의 경우, 전술한 바와 같이 각 토마토별로 9지점에서 측정한 실제 경도와 동일 위치에서 수집한 반사광 스펙트럼과의 관계를 PLS와 MLR방법으로 경도 예측모형을 구하였다. 투과광 스

Table 1 Number of data used to develop prediction model and to validate the developed model for prediction of hardness of tomato

Cultivar	Number of data				Hardness range (N)	
	For calibration		For validation		For calibration	For validation
	Reflectance	Transmittance	Reflectance	Transmittance		
Super-sunload	2421	269	756	84	18.7~54.8	16.9~58.5

스펙트럼의 경우는 각 토마토별로 9지점에서 측정된 실제 경도의 평균값을 구하여 이와 투과광 스펙트럼과의 관계를 PLS와 MLR방법으로 경도 예측모형을 구하였다.

VIS/NIR 스펙트럼은 그 자료 수집 시 외부환경 및 측정 장치의 영향을 많이 받는다. 특히 시료의 크기에 따른 광경로 길이(path length)의 변화나 산란(scattering) 차이 등에 의해 상당한 변이를 일으킨다. 더군다나 반사광이나 투과광 공히 그 스펙트럼 수집 시 주변 환경의 변화(조명, 온도 등)와 대상체 표면에서의 광 산란, 물체의 크기, 물체와 측정 센서와의 거리, 측정 센서의 노이즈 등이 측정된 광 스펙트럼에 주요한 영향을 주게 된다. 이러한 광학 측정상의 노이즈를 제거하여 그 영향을 줄이는 방법으로 다양한 전처리(preprocessing)기술이 개발되어 사용되고 있다. 본 연구에서는 이러한 전처리 기술로서 통계분석용 소프트웨어인 The Unscrambler에서 사용 가능한 전처리를 사용하였으며 그 내용은 다음과 같다. 본 연구에서 사용한 전처리는 수집자료의 평균(mean), 최대값(maximum), 일정범위 값(range)을 이용한 3종의 정규화법(normalization), MSC(multiplicative scatter correction), SNV(standard normal vibrat), Savitzky-Golay와 Norris Gap이 각각 개발한 1차와 2차 미분법 등 총 9종의 전처리를 적용한 반사광과 투과광 스펙트럼을 이용하여 PLS와 MLR 예측모형을 개발하고 그 정당성을 분석한 후 서로 비교하여 예측모형을 선정하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 가. PLS 분석을 이용한 경도 예측모형 개발

##### 1) 반사광 스펙트럼

토마토의 반사광 스펙트럼을 이용한 최선의 경도 예측모형을 구하기 위해 본 연구에서 사용한 9종 전처리와 전처리를 하지 않은 원 자료를 PLS 분석하여 10종의 경도 예측모형을

개발하고, 개발한 10종 모형의 정당성을 검증한 결과는 표 2와 같다. 표에서 모형개발(calibration)의 결정계수( $R^2$ )는 모형 개발에 사용한 실제 경도 측정값과 개발한 모형에 의한 예측값간의 결정계수이고, 정당성 검증(validation)의 결정계수는 검증용 실험자료의 경도값과 개발 모형에 의한 예측값 간의 결정계수이다. 그리고 SEC와 SEP는 각각 개발모형의 표준오차(standard error)와 검증결과의 표준오차이다.

개발한 10종 모형 중 경도를 예측하는데 우수한 성능을 나타낸 모형은 검증의 결정계수로 판단하였는데, 그 결과 반사광 스펙트럼의 경우 가장 우수한 성능을 나타낸 모형은 표와 같이 maximum-normalization 전처리를 수행하여 개발한 모형으로서, 정당성 검증의 결정계수는 0.21(모형개발의 결정계수는 0.35), SEP는 6.7 N(SEC는 9.0 N)으로 나타났다. 이와 같은 결과는 He 등(2005)의 Vis/NIR 분광분석 기술을 이용한 토마토 경도 예측모형의 결과와 유사한 결과로 이와 같이 가장 우수한 경우 검증의 결정계수가 0.21 정도인 것으로 보아 반사광 스펙트럼의 PLS 분석에 의한 경도 예측은 그 예측수준이 매우 낮은 것으로 판단되었다.

##### 2) 투과광 스펙트럼

투과광 스펙트럼을 이용하여 위와 동일한 방법으로 10종의 경도 예측모형을 개발하고 그 정당성을 검증한 결과는 표 3과 같다. 전처리별 투과광 스펙트럼을 이용하여 개발한 10종 경도 예측모형 중 정당성 검증에서 우수한 성능을 나타낸 모형은 표와 같이 range-normalization 전처리하여 개발한 모형으로서 정당성 검증의 결정계수는 0.64(모형개발의 결정계수도 0.64)였고, SEP는 4.3 N(SEC는 5.9 N)으로 나타났다. 이와 같이 투과광 스펙트럼을 이용하여 개발한 예측모형의 정당성 검증의 결정계수는 비록 아주 높은 수준은 아니지만 반사광 스펙트럼의 PLS 분석에 의한 경도 예측 성능보다는 훨씬 우수한 성능을 갖는 것으로 판단되었다. 그러나 이러한 예

Table 2 Results of calibration and validation of the developed models using reflectance spectrum by PLS method

Preprocessing		Calibration		Validation	
		$R^2$	SEC	$R^2$	SEP
Raw data		0.44	8.3	0.17	7.0
Normalization	Mean	0.34	9.0	0.20	6.7
	Maximum	0.35	9.0	0.21	6.7
	Range	0.29	9.4	0.16	6.8
MSC		0.33	9.1	0.18	6.6
SNV		0.34	9.0	0.18	6.7
Savitzky-Golay	1 <sup>st</sup> derivative	0.40	8.1	0.14	7.0
	2 <sup>nd</sup> derivative	0.41	8.5	0.13	6.0
Norris Gap	1 <sup>st</sup> derivative	0.41	8.5	0.15	6.8
	2 <sup>nd</sup> derivative	0.42	8.5	0.15	6.8

**Table 3** Results of calibration and validation of the developed models using transmittance spectrum by PLS method

Preprocessing		Calibration		Validation	
		$R^2$	SEC	$R^2$	SEP
Raw data		0.50	5.1	0.52	6.9
Normalization	Mean	0.66	4.2	0.62	6.0
	Maximum	0.64	4.2	0.61	6.1
	Range	0.64	4.3	0.64	5.9
MSC		0.62	4.2	0.62	6.2
SNV		0.64	4.0	0.62	6.0
Savitzky-Golay	1 <sup>st</sup> derivative	0.55	4.5	0.36	7.9
	2 <sup>nd</sup> derivative	0.36	5.9	0.53	7.0
Norris Gap	1 <sup>st</sup> derivative	0.55	4.4	0.38	7.8
	2 <sup>nd</sup> derivative	0.59	4.3	0.45	7.4

측모형의 실용성을 높이기 위해서는 좀 더 많은 연구가 필요할 것으로 판단되었다.

#### 나. MLR 분석을 이용한 경도 예측모형 개발

##### 1) 반사광 스펙트럼

반사광 스펙트럼의 MLR 분석에 의한 경도 예측모형은 위에서 설명한 PLS 분석을 이용한 예측모형 개발과 동일한 방법으로 10종의 전처리 후 개발한 다음 그 정당성을 검증하였으며 그 결과는 표 4와 같다. 표와 같이 MLR 분석하여 개발한 10종의 경도 예측모형의 정당성 검증 결과 우수한 성능을 갖는 것은 range-normalization 전처리하여 개발한 모형으로서 정당성 검증의 결정계수는 0.21(모형개발의 결정계수는 0.35)로서 앞에서 설명한 PLS 분석 결과와 같은 수준이었으나 SEP는 12.6 N(SEC는 8.7 N)로서 결과적으로 PLS 분석 결과보다 낮은 결과로 나타났다. 따라서 반사광 스펙트럼의 MLR 분석에 의한 경도 예측의 그 예측 수준도 매우 낮은 것으로 판단되었다.

##### 2) 투과광 스펙트럼

투과광 스펙트럼의 MLR 분석에 의한 경도 예측모형 또한 위와 같은 동일한 방법으로 수행하여 10종의 예측모형을 개발하고 개발 모형의 정당성을 검증한 결과는 표 5와 같다. 개발한 경도 예측모형의 정당성의 검증 결과는 표와 같이 가장 우수한 성능을 갖는 모형이 Norris Gap의 2차 미분 전처리한 것이었고, 정당성 검증 결과의 결정계수는 0.66(모형개발의 결정계수는 0.61), SEP는 5.8 N(SEC는 6.0 N)으로 나타났다. 이는 투과광 스펙트럼의 PLS 분석에 의한 예측 모형 개발 결과와 거의 비슷한 결과로서 분광특성에 의한 경도 예측 모형의 개발은 투과광 스펙트럼을 사용하여야 할 것으로 판단되었으며, 그 예측모형은 PLS 또는 MLR 분석방법에 의해 비슷한 수준의 성능을 갖는 결과를 얻을 수 있는 것으로 판단되었다.

#### 4. 요약 및 결론

본 연구는 분광분석 방법으로 토마토 경도를 예측하는데

**Table 4** Results of calibration and validation of the developed models using reflectance spectrum by MLR method

Preprocessing		Calibration		Validation	
		$R^2$	SEC	$R^2$	SEP
Raw data		0.44	8.0	0.10	12.9
Normalization	Mean	0.36	8.4	0.11	12.8
	Maximum	0.37	8.6	0.13	10.8
	Range	0.35	8.7	0.21	12.6
MSC		0.35	8.8	0.14	10.7
SNV		0.35	8.7	0.13	10.9
Savitzky-Golay	1 <sup>st</sup> derivative	0.48	7.8	0.18	11.5
	2 <sup>nd</sup> derivative	0.41	8.3	0.15	12.0
Norris gap	1 <sup>st</sup> derivative	0.47	7.9	0.19	11.4
	2 <sup>nd</sup> derivative	0.44	8.1	0.17	11.8

**Table 5** Results of calibration and validation of the developed models using transmittance spectrum by MLR method

Preprocessing		Calibration		Validation	
		$R^2$	SEC	$R^2$	SEP
Raw data		0.57	7.1	0.55	6.7
Normalization	Mean	0.66	6.4	-	-
	Maximum	0.58	7.0	-	-
	Range	0.57	7.2	0.64	5.8
MSC		0.67	6.8	-	-
SNV		0.65	5.9	0.62	6.0
Savitzky-Golay	1 <sup>st</sup> derivative	0.64	6.2	0.51	6.8
	2 <sup>nd</sup> derivative	0.68	6.3	0.30	8.3
Norris gap	1 <sup>st</sup> derivative	0.58	6.9	0.60	6.1
	2 <sup>nd</sup> derivative	0.61	6.0	0.66	5.8

효과적인 분광자료 수집방법과 예측모형 개발방법을 찾기 위해 수행하였다. 이를 위하여 토마토 반사광과 투과광 스펙트럼을 측정된 다음, 이를 9종의 스펙트럼 전처리 방법에 의해 전처리하고 전처리하지 않은 자료까지 포함 한 반사광과 투과광 스펙트럼 각각의 총 10종 자료를 대상으로 PLS와 MLR 방법에 의해 경도예측 모형을 개발하고 그 성능을 정당성 검증결과로 비교하였다.

그 결과, 토마토 경도 예측을 위해서는 투과광 분광분석을 이용하는 것이 좀 더 효과적이며 실용성 있는 경도 예측모형을 개발하기 위해서는 앞으로 더 많은 연구가 필요할 것으로 판단되었다. 그리고 투과광 스펙트럼의 PLS와 MLR에 의해 개발한 경도 예측모형의 정당성 검증결과를 비교한 결과 두 개발방법의 성능은 비슷한 것으로 판단되었다.

**참고 문헌**

- Choi, C. H., K. J. Kang and B. S. Park. 1997. Prediction of soluble and firmness in apple by Visible/Near-Infrared spectroscopy. *J. of the Korean Society for Agricultural Machinery* 22(2):256-265. (In Korea)
- Joseph, J. Jen. 1989. Quality factors of fruits and vegetables-chemistry and technology. American Chemical Society, Washington D.C., ACS Series pp. 405-410.
- Ketelaere Bart De, J. Lammertyn, G. Molenberghs, B. Nicolai and J. De Baerdemaeker. 2003. Statistical modeling of tomato firmness evolution during postharvest storage. ASABE Paper No. 036136.
- Lammertyn, J., B. Nicolai, K. Ooms, V. De Smedt and K. De Baerdemaeker. 1998. Non-destructive measurement of acidity, soluble solids and firmness of Jonagold apples using NIR-spectroscopy. *Trans. of the ASABE* 41(4):1089-1094.
- Lee, J. D., Y. T. Kim, S. R. Suh, S. N. Yoo and Y. S. Choi. 2007. Development of an algorithm to predict firmness of a tomato using spectrometric property. *Proceedings of the KSAM 2007 summer conference*. pp. 387-390. (In Korea)
- Liu Yan-de, Yi-bin Ying, Xiaping Fu and Huishan Lu. 2007. Experiments on prediction sugar content in apples by FT-NIR Technique. *J. of Food Engi.* 80(3):986-989.
- Lu Renfu, 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* 31:615-630.
- Lu Renfu. 2001. Predicting firmness and sugar content of sweet cherries using near-infrared diffuse reflectance spectroscopy. *Trans. of the ASABE* 44(5):1265-1271.
- McGlone, V. A. and S. Kawano. 1998. Firmness, dri-matter and soluble solids assesment of postharvest kiwifruit by NIR spectroscopy. *Postharvest Biology and Technology* 13:131-141.
- Park, B. S., J. A. Abbott, K. J. Lee, C. H. Choi and K. H. Choi. 2002. Near-infrared spectroscopy to predict soluble solids and firmness in apples. ASABE Paper No. 023066.
- Suh, S. R., Y. T. Kim, S. N. Yoo and Y. S. Choi. 2007. Development of an algorithm to predict internal qualities of tomatoes using spectrometric propey. *Proceedings of the KSAM 2007 summer conference*. pp. 391-396. (In Korea)
- Yong He, Y. Zhang, A. G. Pereira, A. H. Gomez, and J. Wang. 2005. Nondestructive determination of tomato fruit quality characteristics using Vis/NIR spectroscopy technique. *Intern. J. of Information Tech.* 11(11):97-108.