

가시광선 및 근적외선 투과스펙트럼을 이용한 홍삼의 내부품질예측

손재룡 이강진 김기영 강석원 최규홍 장익주

Internal Quality Estimation of Korean Red Ginseng Using VIS/NIR Transmittance Spectrum

J. R. Son K. J. Lee G. Kim S. Kang K. H. Choi I. J. Jang

ABSTRACT

This study was conducted to evaluate the internal quality of Korean red ginseng using VIS/NIR transmittance spectra. To classify the internal qualities, partial least squares(PLS) regression was conducted. The main results are as follows:

To develop the PLS model, several wave bands were divided and incorporated into the model. Among the bands, the wavelength range of 550~1,020 nm, excluded noise signal, showed the best evaluation results. Effect of step size on the performance of quality evaluation showed optimal at 15 steps. In order to enhance the accuracy of quality evaluation, the abnormal spectrum shape was considered first and then the PLS model was applied. Among the 150 samples, 12 samples were evaluated by the spectrum shape. In this study, to develop the optimal PLS regression model, among the 150 samples, 138 samples was used with exception of 12 samples which could evaluate the spectrum shape. The result of quality evaluation was promising as SEC and correlation coefficient were 1.09 and 0.967, respectively, and SEP and correlation coefficient were 1.04 and 0.958, respectively.

Keywords : Red ginseng, Quality evaluation, Spectroscopy, VIS, NIR, PLS.

1. 서 론

고려홍삼의 성분은 그 효능이나 약리작용에 있어서 세계에서 단연 으뜸이며, 판매금액에 있어서도 고가에 거래되고 있는 수출유망작목이다. 따라서 구매자들은 품질판정에 있어서 엄격한 검사를 요구하고 있을 뿐만 아니라 등급에 부적합한 홍삼이 섞이게 되면 반환된다. 이런 경우, 신뢰성이 떨어져 국가경쟁력의 하락을 초래할 수 있다.

홍삼을 원형삼으로 판매하기 위해 분류되고 있는 등급은 크게 3등급으로서 천, 지, 양삼이며, 이의 판정은 외관뿐만 아니라 내부품질 상태에 따라 구분된다. 현재 등급판정은 숙련된 전문가의 육안으로 판정하고 있으며, 판정에 가장 어려운 공정은 내부품질을 평가하는 것이다. 내부의 결함 판정은 홍삼을 자르지 않고 암실에서 행하고 있으며, 테이블에 슬릿을 만들어 그 위에 홍삼을 올려놓고 테이블 아래에 설치된

램프에서 나오는 강한 빛을 홍삼에 투과시키게 된다. 이때 내부품질에 따른 투과된 빛의 미묘한 차이에 의해 내공이나 내백을 검출한다. 이와 같은 내부품질 판정은 숙련된 전문가에 의해서만 가능하며 장시간 작업을 할 경우 눈의 피로를 가중시켜 판정의 오차를 증가시키는 원인으로 작용할 수 있다.

홍삼 등급판정의 기계화 가능성 측면에서 볼 때 외관판정의 경우 영상처리시스템에 의해 표피의 색택이나 굵기, 다리의 개수 등과 같은 판정인자들을 이용하면 가능하지만, 실용화가 가능한 비파괴 내부품질을 판정하는 연구는 아직까지 만족할 만한 성과가 나타나지 않고 있는 실정이다.

지금까지 홍삼의 등급판정을 위한 기계화 관련 연구로는 외관판정을 위해 영상처리시스템을 이용하였고(Jang 등, 2000; Kim 등, 1997, 1998), MRI 및 NMR 시스템을 이용하여 비파괴 내부품질판정 연구를 시도한 바 있다(Kim 등, 2001; Kim과 Lim, 2003; Lee 등, 2001;

This article was submitted for publication in June 2004; reviewed and approved for publication by editorial board of KSAM in July 2004. The authors are Jae-Ryong Son, Kang-Jin Lee, Giyoung Kim, Sukwon Kang and Kyu-Hong Choi, KSAM member, Researcher, National Institute of Agricultural Engineering, and Ik-Joo Jang, KSAM member, professor. Dept. of Bio-Industrial March Engineering, Kyunypook National University.

The corresponding author is J. R. Son, KSAM member, Researcher, Div. of Postharvest Engineering, National Institute of Agricultural Engineering, 249 Suhdun-dong, Kwonsun-ku, Suwon City, 441-100, Korea; E-mail : <son1892@rda.go.kr>

Lim 등, 2002) 또한 X-ray 영상처리를 이용한 시도가 수행된 바 있으나(Son 등, 2002, 2003), 실용화된 상태는 아니고, 특히 시스템의 사양이 너무 고가이기 때문에 실용화하기에는 해결해야할 부분들이 많이 존재하고 있다.

따라서 이 연구에서는 현재 농산물의 품질판정에 널리 이용되고 있는 NIR 분광분석법을(Choi 등, 1997; 황 등, 2000; Kim 등, 1999; Kawano 등, 1993; Lee 등, 1998a, 1998b) 이용하여 홍삼의 내부품질을 판정하고자 하였다. 내부품질을 예측하기 위하여 PLS 회귀모델을 개발하여 내부품질을 예측하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

가. 공시재료 및 스펙트럼 데이터 수집

스펙트럼 데이터를 수집하기 위한 홍삼 시료는 총 150편 이었고, 내부품질에 따라 정상삼, 생내백삼, 내백삼으로 분류하였으며, 이중 정상삼은 38편, 생내백삼은 77편 그리고 내백삼은 35편 이었다. 홍삼의 투과스펙트럼을 획득하기 위하여 Son 등(2004)이 보고한 것과 동일한 시스템(할로겐램프(EKE, 150W/21V, Oslam Co., Germany), 분광광도계(USB2000, Ocean Optics Co, USA))을 이용하였고 해상도는 600 lines/mm 이며, 투과스펙트럼의 획득 범위는 520~1,180 nm 까지 가능하였다. 스펙트럼의 전처리에는 range normalization을 이용하여 내부품질에 따른 투과도 차이에서 발생하는 피크의 높이 차를 동일한 수준으로 맞추고자 하였다. 한편, 광 검출기로부터 획득된 홍삼의 투과스펙트럼에는 많은 양의 데이터가 포함되어 있고, 이것은 품질판정을 위한 분석절차에 많은 시간을 요한다. 따라서 여기서는 품질판정에 나쁜 영향을 미치지 않는 범위 내에서 데이터의 양을 줄이고 성능향상을 도모하고자 스펙트럼의 데이터를 pixel 간격에 따라 재구성 하였다. 획득된 스펙트럼의 전 파장에서 pixel 수를 5 step 씩 증가시켜 30 step 까지 등 간격으로 데이터를 재구성 하였다. 한편, 1 step에는 약 3 nm의 데이터가 존재하기 때문에 30 step으로 데이터를 재구성하게 되면 약 9 nm 간격으로 스펙트럼을 획득하게 된다.

나. 내부 품질을 예측하기 위한 PLS 모델 개발

PLS 회귀법은 스펙트럼의 데이터 행렬을 고유벡터

(eigen vector) 집합과 스코어(score)로 분해하는데 농도정보를 이용하여 고농도의 스펙트럼은 저농도의 스펙트럼보다 큰 가중치를 가지는 통계적인 기법이다. 여기서 사용된 농도정보는 홍삼의 내부품질인자 즉, 정상삼, 생내백삼 그리고 내백삼이다. 최적의 요인을 찾기 위하여 교차검정(cross validation)을 실시하였고, 요인수의 증가에 따라 PRESS(Prediction Residual Error Sum of Squares)의 변화를 관찰하여 그 값이 최소가 되는 지점의 요인수를 최적의 Factor 수로 결정하였다. 여기에 사용된 소프트웨어는 상용의 분석용 프로그램(Unscrambler, Ver. 7.0, Camo Co., USA)를 이용하였다.

가시광선 및 근적외선을 홍삼에 투과시켜 획득된 스펙트럼을 이용하여 내부품질을 판정하고자 PLS 회귀법을 이용하였다. 모델 개발에 사용된 홍삼 시료는 150편 이었으며, 최적의 내부품질판정 모델을 개발하기 위하여 다음과 같은 4가지 방법으로 모델을 작성하여 분석하였다. ① 전체 시료를 이용한 PLS 모델 개발, ② 전형적인 홍삼의 투과스펙트럼에 비해 피크의 형성이 특이한 시료는 이에 따라 1차 판정하고, 나머지 시료를 대상으로 PLS 모델 개발, ③ 파장대역에 따른 PLS 모델 개발(8 수준), ④ 스펙트럼의 파장에 대응하는 pixel 수를 등 간격별로 끊어서 데이터를 재구성한 후 PLS 모델 개발(7 수준).

개발된 예측모델의 평가는 결정계수(r^2)와 모델 개발에 사용된 각 시료의 측정값과 예측모델의 결과값 사이의 오차에 대한 표준편차인 SEC와 모델 개발에 사용되지 않은 시료의 예측값과 실제 결과값과의 차이를 나타내는 SEP를 이용하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 비정상 스펙트럼의 제거 유무에 따른 내부품질 판정

PLS에 의한 예측모델을 개발하고자 할 때 같은 품질인자의 군에 포함된 스펙트럼 중에서 비정상적인 것이 포함되면 통계적인 분석절차에 나쁜 영향을 미치게 되어 품질판정의 정밀도를 떨어뜨리는 원인이 된다. 따라서 이 연구에서는 모델을 작성할 때 이와 같은 비정상적인 스펙트럼의 포함 유무에 따른 예측

정도를 비교하고자 하였다.

Fig. 1과 Fig. 2는 내부품질별 파장에 따른 스펙트럼의 강도 값을 나타낸 것이다. Fig. 1은 전형적인 홍삼의 투과스펙트럼 형태이고, Fig. 2는 피크의 형성이 비정상적인 것을 나타낸 것이다. Fig. 1에서 보는바와 같이 전형적인 홍삼의 투과스펙트럼은 700~750 nm 부근에서 형성되는 첫 번째 피크의 높이가 정상삼에서 생내백삼 그리고 내백삼으로 갈수록 낮아지는 경향이 있다(Son 등, 2004). 그러나 Fig. 2는 피크의 형성을 이용하여 쉽게 내부품질을 판정할 수 있는 홍삼의 스펙트럼을 나타낸 것이며, 이를 이용하여 우선 첫 번째 피크의 형성이 없으면 내백삼으로 판정할 수 있었다. 또한, 정상삼은 첫 번째 피크의 높이가 매우 크게 나타났으며, 이에 따라 “제1피크 - 제2피크”의 값이 0보다 크거나 같으면 정상삼이라고 판정할 수 있었다. 이와 같이 비정상적인 스펙트럼에 의한 내부품질 판정이 가능한 시료는 총 150편의 홍삼 시료 중에서 12편 이었다.

Table 1은 홍삼의 투과스펙트럼을 이용하여 PLS에 의한 내부품질을 예측한 결과로서, 모든 시료를 대상으로 예측한 결과와 스펙트럼의 형태가 비정상적으로 발생하는 것을 제외한 나머지 시료를 대상으로 예측한 결과를 비교한 것이다. 전체 시료를 대상으로

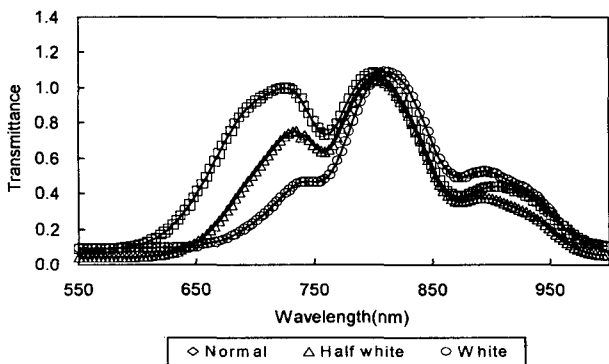


Fig. 1 Traditional transmittance spectral responses to the internal qualities.

한 모델의 정밀도를 보면 SEC가 1.075, SEP는 1.895 이었으나, 기형 스펙트럼을 제외한 나머지 시료에 대한 PLS 모델의 정밀도는 SEC의 경우 1.096으로서 약간 증가하였으나, SEP는 1.273으로서 양호한 결과가 나타났다. 따라서 비정상 스펙트럼을 제거한 상태에서 PLS 모델을 개발하는 것이 내부품질을 예측하는데 양호한 것으로 나타났다.

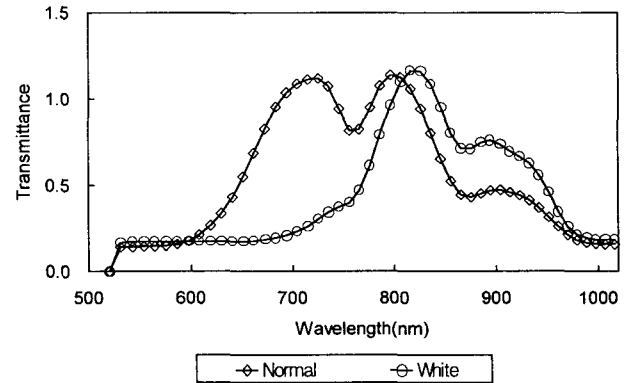


Fig. 2 Abnormal spectral responses to the internal qualities.

나. 파장대역에 따른 영향

투과스펙트럼을 획득할 수 있는 파장대역은 520~1,180 nm 까지 가능하며, Table 2와 같이 파장대역을 8개의 구간으로 나누어 각각에 대한 내부품질판정 정도를 조사하였다. 이 중에서 가장 양호하게 나타나는 파장대역의 구간은 550~1,020 nm이었다. 이 때 캘리브레이션 모델에 대한 상관계수는 0.968 이었으며, SEC는 1.096이었다. 또한 예측에 대한 상관계수는 0.957이었고, PLS 모델 검증에 있어서 가장 중요한 SEP는 1.273으로서 양호하게 나타났다. 한편, 520~1,020 nm 영역에서의 품질판정은 캘리브레이션 모델에 대한 결과(SEC와 상관계수)는 가장 양호하게 나타났으나, 예측에 있어서는 두 번째 구간(550~1,020 nm)에서의 결과보다 낮게 나타났다.

Table 1 Compared to evaluate the internal quality response to the abnormal spectrum removed or not

Analysis methods	Calibration		Prediction	
	SEC	r ²	SEP	r ²
Use all spectra (150 samples)	1.075	0.920	1.895	0.901
Removed abnormal spectra (138 samples)	1.096	0.968	1.273	0.957

Table 2 Accuracy of quality evaluation at the various wavelength regions

Wavelength region(nm)	No. of Factor	Calibration		Prediction	
		SEC	r ²	SEP	r ²
520 ~ 1,020	9	1.082	0.968	1.304	0.954
550 ~ 1,020	9	1.096	0.968	1.273	0.957
600 ~ 1,020	9	1.137	0.965	1.297	0.955
650 ~ 1,020	9	1.157	0.964	1.289	0.955
650 ~ 850	5	1.937	0.896	2.061	0.882
800 ~ 1,000	7	1.641	0.927	1.961	0.895
520 ~ 800	7	1.670	0.924	1.927	0.899
520 ~ 900	8	1.458	0.943	1.668	0.925

다. 파장간격에 따른 영향

Table 3은 PLS 모델에 의해 품질을 판정하는데 가장 양호한 파장영역인 550~1,020 nm의 범위를 이용하였고, 하나의 스펙트럼에 대한 입력 데이터 수에 따라 품질판정 정도를 조사하고자 1~30 step까지 5 step 씩 증가하면서 내부품질을 판정한 결과이다. 표에서 나타낸 바와 같이 15 step에서 캘리브레이션 모델과 예측모델에서 가장 양호한 결과가 나타났으며, 이때 캘리브레이션에 대한 SEC는 1.098이고 상관계수는 0.967이었으며, 예측의 SEP는 1.242, 상관계수는 0.958 이었다. 따라서 적절한 step 수를 결정함으로써 데이터양의 감소에 따른 분석시간 단축과 판정 정밀도를 향상시킬 수 있었다.

Fig. 3은 PLS 모델에 의한 품질을 예측한 결과를 도시한 것으로서 캘리브레이션과 예측간의 편차가 크지 않은 것을 확인할 수 있으며, 따라서 모델이 양

호하게 작성되었다고 판단되었다. 또한 Fig. 4는 PLS 모델의 적정 factor 수를 결정하기 위한 PRESS 값을 나타낸 것으로서 factor 수가 증가할수록 모델의 PRESS 값은 감소하였으며, factor 수가 9 이상에서는 더 이상 증가하지 않아 적정 factor 수는 9가 적당한 것으로 나타났다.

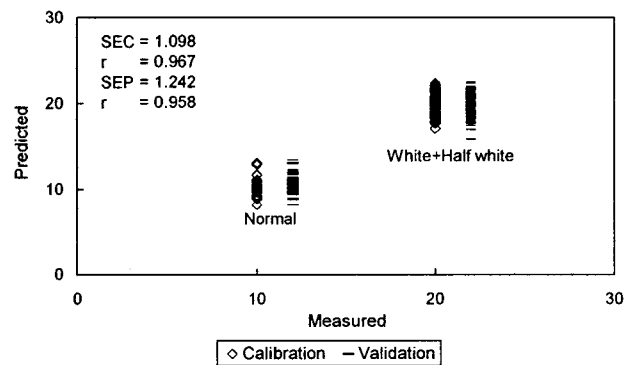


Fig. 3 Results of quality evaluation using the PLS model.

Table 3 Quality evaluation accuracy for the various wavelength intervals

Interval of wavelength(nm)	No. of Factor	Calibration		Prediction	
		SEC	r ²	SEP	r ²
1 steps (0.3)	9	1.096	0.968	1.273	0.957
5 steps (1.5)	9	1.098	0.967	1.297	0.955
10 steps (3.0)	9	1.103	0.967	1.289	0.955
15 steps (4.5)	9	1.098	0.967	1.242	0.958
20 steps (6.0)	9	1.105	0.967	1.283	0.956
25 steps (7.5)	9	1.106	0.967	1.299	0.955
30 steps (9.0)	9	1.101	0.968	1.301	0.955

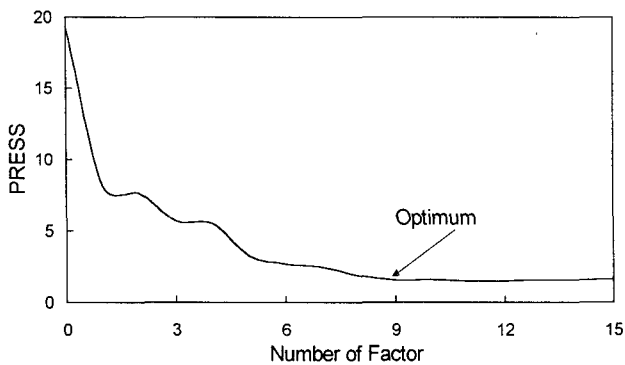


Fig. 4 The PRESS curve of the PLS model.

4. 요약 및 결론

이 연구는 홍삼을 투과한 스펙트럼을 이용하여 비파괴적으로 내부품질을 판정하기 위하여 PLS 회귀모델을 개발하여 내부품질판정 정도를 조사하였다. PLS 모델에 대한 검증은 SEC와 SEP 그리고 결정계수를 통하여 검증하였다. 얻어진 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) PLS 모델에 의한 내부품을 예측하기 위하여 파장대역을 8 구간으로 나누어 각 구간에서 품질판정 정도를 조사하였다. 전 파장대역인 520~1,020 nm 영역 중 가장 양호한 결과가 나타나는 파장대역은 거의 전구간인 550~1,020 nm이었다. 앞쪽 파장은 시스템의 불안정으로 인한 노이즈가 발생되어 모델 개발에 유효하지 않은 것으로 판단되었다.

(2) 파장의 간격에 따른 품질판정에 있어서는 15 step으로 스펙트럼을 획득하여 모델을 작성했을 때 가장 양호한 결과가 나타났다.

(3) 스펙트럼의 형상이 기형적으로 발생하는 것을 찾아 그 형상에 따라 1차적으로 품질 판정을 하고, 나머지 시료에 대해서는 PLS 모델로 예측하며, 최종적으로 이들을 조합하여 품질판정의 정밀도를 향상 시키고자 하였다. 총 150편의 홍삼 중 1차적으로 품질판정이 가능한 홍삼은 12편이었고, 그 이외의 스펙트럼 데이터(138편)는 PLS 모델로 예측하였다. Calibration 모델에서의 표준오차(SEC)는 1.09이고, Prediction 모델에서의 예측오차(SEP)는 1.24로서 양호하였고, 또한 두 모델에서의 오차가 크지 않아 품질 판정을 위한 예측모델의 작성이 양호함을 알 수 있었다.

참고 문헌

1. Choi, C. H., K. J. Lee and B. Park. 1997. Prediction of Soluble Solid and Firmness in Apple by Visible/Near-infrared Spectroscopy. J. Korean Society for Agricultural Machinery. 22(2). pp. 256-265.
2. Jang, Y. H., D. I. Jang, S. H. Bang and Y. I. Lim. 2000. Development of an Algorithm of Image Processing for the Shape Sorting System of Red-Ginseng. Proc. KSAM Winter Conference. pp. 430-435.
3. Kawano, S., T. Fujiwara and M. Iwamoto. 1993. Nondestructive Determination of Sugar Content in Satsume Mandarin using Near Infrared(NIR) Transmittance. J. Jpn. Soc. Hort. Sci. 62(2). pp. 465-470.
4. Kim, C. S., J. H. Lee, S. J. Park and M. H. Kim. 1998. Automatic Grading Algorithm for White Ginseng. Proc. KSAM Winter Conference. pp. 450-457.
5. Kim, C. S. and J. Y. Lee. 1997. Computer Vision System for Automatic Grading of Ginseng. Proc. KSAM Winter Conference. pp. 401-408.
6. Kim, S. M. and J. K. Lim. 2003. Analysis of Magnetic Resonance Characteristics and Images of Korean Red Ginseng. J. Korean Society for Agricultural Machinery. 28(3). pp. 253-260.
7. Kim, S. M., J. K. Lim and C. S. Kim. 2001. Feasibility of Resonance Imaging for Quality and Age Identification of Fresh Ginseng (*Panax ginseng* C.A. Meyer). Proc. of the KSAM Winter Conference. pp. 379-386.
8. Kim, S. M., P. Chen, M. J. McCarthy and B. Zion. 1999. Fruit Internal Quality Evaluation using On-line Nuclear Magnetic Resonance Sensors. J. Agri. Engng Res. 74. pp. 293-301.
9. Lee, K. J., W. R. Hruschka, J. A. Abbott, S. H. Noh and B. S. Park. 1998a. Predicting the Soluble Solids of Apples by Near Infrared Spectroscopy(Part 1). J. Korean Society for Agricultural Machinery. 23(6). pp. 561-570.
10. Lee, K. J., W. R. Hruschka, J. A. Abbott, S. H. Noh and B. S. Park. 1998b. Predicting the Soluble Solids of Apples by Near Infrared Spectroscopy(Part 2). J.

- Korean Society for Agricultural Machinery. 23(6). pp. 571-582.
11. Lee, S. J., J. G. Lim, S. M. Kim and C. S. Kim. 2001. Nuclear Magnetic Resonance Characteristics of Korean Red Ginsengs. Proc. KSAM Summer Conference. pp. 255-260.
 12. Lim, J. G., C. S. Kim and S. M. Kim. 2002. Magnetic Resonance Imaging of Red Ginsengs. Proc. KSAM Winter Conference. pp. 450-456.
 13. Son, J. R., K. H. Choi, K. J. Lee, D. S. Choi and G. Kim. 2002. X-ray Image Processing for the Korea Red Ginseng Inner Hole Detection(I) - Preprocessing technique for inner hole detection -. Journal of the Korean society for Agricultural Machinery 27(4):341-348.(in Korean).
 14. Son, J. R., K. H. Choi, K. J. Lee, D. S. Choi and G. Kim. 2003. X-ray Image Processing for the Korea Red Ginseng Inner Hole Detection(II) - Results of inner hole detection -. Journal of the Korean Society for Agricultural Machinery 28(1):45-52.(in Korean)
 15. Son, J. R., K. J. Lee, D. S. Choi, G. Kim, S. Kang and I. J. Jang. 2004. Characteristics of Transmittance Spectrum of Korean Red Ginseng using VIS/NIR. Proc. KSAM Winter Conference. pp. 460-463.
 16. 황인근. 2000. VIS/NIR 분광분석법에 의한 사과(후지)의 온라인 당·산도 선별시스템 개발. 서울대학교 박사학위 논문.