근적외선을 이용한 사과의 경도측정+

Firmness Measurement of Apples by NIR Spectroscopy

이강진* 최규홍* 박보순** 조영길*
정회원 정회원 정회원 정회원
K.J. Lee K.H. Choi B.S. Park Y.K. Cho

1. 서론

생산지에서 소비지까지 이송되는 농산물의 유통과정은 농산물에 피로가 누적되는 과정으로서, 시간의 경과에 따라 신선한 본래의 상태를 상실하게 되어 상품성이 저하되며, 건전한 다른 농산물까지 피해를 입히게 되게 된다. 아울러 소비자가 느끼는 신선한 맛과 관련된 경도가 줄어들게 되어 최종 소비자가 느끼는 맛 또한 경감되는데, 맛과 더불어 상품성을 향상시키기 위해서는 산지에서 출하될 때나 저장 후에 출하될 때, 이러한 경도가 떨어지는 농산물을 배제하는 기술이 필요하다.

본 연구에서는 근적외선 분광분석법을 이용하여 사과의 경도를 비파괴적으로 판정하기 위하여 사과의 경도와 반사스펙트럼을 측정한 후, 반사스펙트럼으로 경도를 판정할 수 있는 경도예측모델을 개발하고자 부분최소제곱회귀법과 신경회로망을 도입하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 공시재료 및 방법

본 실험에서는 1996년에 생산된 충남 예산산 사과(품종 : 후지) 222개를 이용하여 시료 1개당 적도부위 2군데씩 가시광선 및 근적외선 반사스펙트럼을 측정한 후 측정부위를 날카로운 과도로 박피하여 경도를 측정하였다.

400nm에서 1770nm까지의 가시광선과 근적외선 반사스펙트럼을 측정하기 위하여 대형시료실이 장착된 적분구방식의 UV-3101pc Spectrophometer(Shimadzu, Japan)를 사용하여

+ 이 연구는 농촌진흥청 농업기계화연구소와 미국 농무성 농업연구청(USDA, ARS) 사이에 수행되고 있는 한미국제공동연구과제인 "비파괴 과실품질판정기술 개발(Non-destructive quality evaluation of fruits)"의 일환으로 수행된 것임.

* 농촌진흥청 농업기계화연구소
** Instrumentation & Sensing Lab. NRI/ARS/USDA. U.S.A.

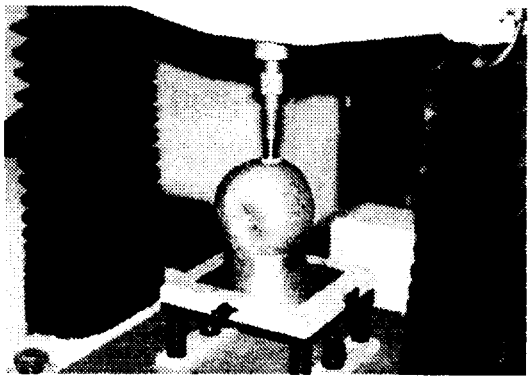


Fig. 1 Firmness measurement of an apple by TA-HD_2 Texture Analyzer.

400nm에서 1770nm까지의 빛을 시료에 조사한 후 반사스펙트럼을 측정하였으며, TA-HD2 Texture Analyzer(SMS, England)로서 직경 11.2mm의 실린더형 프로브를 이용하여 하중 재하속도 25.4mm/min로 하고, 프로브가 과육의 7.9mm를 침투할 때까지 나타난 힘과 변형량을 측정하고, 그 때 가해진 힘의 평균값을 경도로 하였다.

경도를 예측하기 위한 모델개발용으로서 사과 298개를, 예측모델의 검증을 위해서 미지 시료 98개를 각각 이용하였으며, 부분최소제곱회귀법(PLS 모델)과 인공신경회로망(ANN 모델)기법을 도입하여 경도예측모델을 개발하였다.

부분최소제곱회귀법에서는 실제로 측정한 경도치와 예측모델로 예측한 값 사이의 오차(PRESS)를 줄여가면서 PRESS가 수렴될 때의 요인수를 최적의 요인수로 결정하였고 이 때의 모델을 경도예측을 위한 최적모델로 설정하였으며, 인공신경회로망에서는 평균제곱근오차(RMSE)가 수렴되었을 때의 신경망을 최적 경도예측모델로 설정하고 평가하였다.

2.2 스펙트럼의 전처리

측정한 반사스펙트럼(R)은 경도예측모델의 개발에 이용하기 위하여 흡광도(log(1/R))로 환산한 후 400nm에서 1770nm까지의 모든 파장(파장간격 2nm)에서의 값을 그대로 입력하거나 2차 미분하여 입력하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 공시재료의 특성

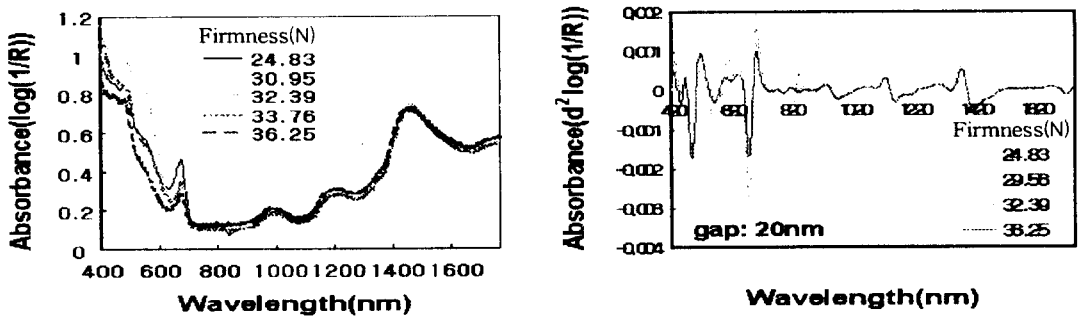
실험에 사용된 사과의 경도와 당도를 측정한 결과는 표 1에 나타낸 바와 같이 최소 24.83N에서 최대 52.66N까지 분포하였다.

또한 흡광도와 흡광

Table 1. Characteristics of apples used for the experiments

Items	Hardness				SS content
	Area(N · m)	Gradient(N/m)	Mean(N)	Peak(N)	(brix)
Maximum	4.4146	7563.8	**52.66**	73.93	18.3
Minimum	1.9610	2902.1	**24.83**	28.79	11.6
Mean	2.5840	4784.9	**32.80**	41.07	14.1
Standard deviation	0.2966	560.8	**3.95**	6.02	0.94

도의 2차 미분값은 그림 2의 (a) (b)에서 보는 바와 같이 시료의 경도와 외형상으로 비례관계를 나타내지는 않았다.



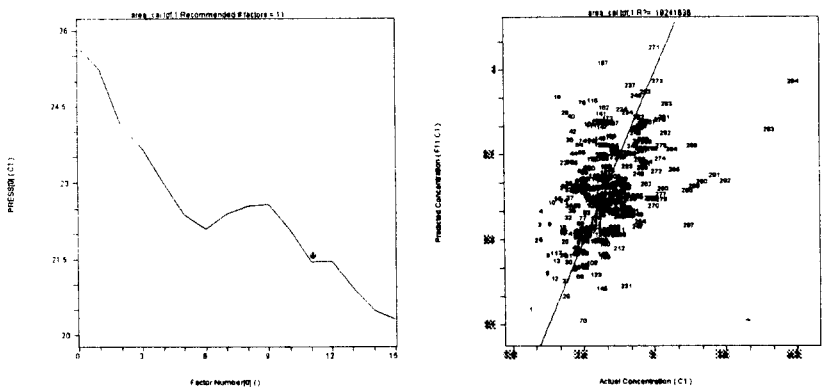
(a) Visible/NIR absorbance.

(b) 2nd-derivative Visible/NIR absorbance.

Fig 2. Visible/NIR raw and 2nd derivative spectra of apples by firmness.

3.2. 부분최소제곱회귀법을 이용한 경도예측모델(PLS모델) 개발

400nm에서 1770nm까지 전파장대역에서의 흡광도를 입력하고, 또 부분 파장대역에서의 흡광도를 입력하여 경도예측모델을 개발한 결과, 가장 양호한 값을 나타낸 파장대역은 900nm에서 1100nm로 나타났다. 이 때의 최적 요인수는 그림 3(a)에서 보는 바와 같이 PRESS가 수렴되는 경향을 보일 때의 요인수인 11개로 나타났으며, 이를 이용한 경도예측모델의 결과는 그림 3(b)에 나타낸 바와 같다.



(a) PRESS change by no. of factors. (b) Calibrating firmness of apples by PLS model.

Fig 3. The optimal no. of factors, and calibration of firmness by PLS model.

PLS 모델에서 최상의 결정계수(R^2)는 0.182로 더 이상의 양호한 값은 구할 수 없었으며, 따라서 PLS모델을 이용한 미지 시료의 경도예측은 어려울 것으로 판단되었다.

3.3. 인공신경회로망을 이용한 경도예측모델(ANN 모델) 개발 및 결과

신경회로망은 그림 4에 나타낸 바와 같이 400nm에서 1770nm까지의 흡광도 중 135개의 파장에 대한 흡광도와 흡광도의 2차미분값을 입력층으로 하였으며, 은닉층은 10개, 출력층은 경도값 1개로 하였다. 이 때의 학습률과 모멘텀은 각각 0.5와 0.4로 하였다.

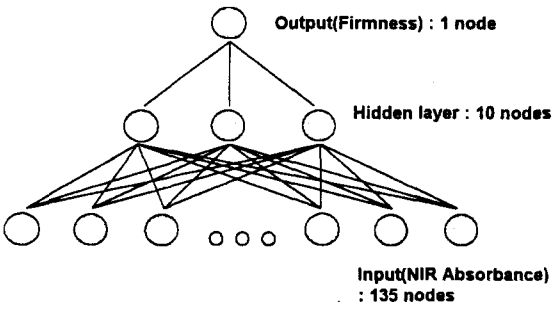
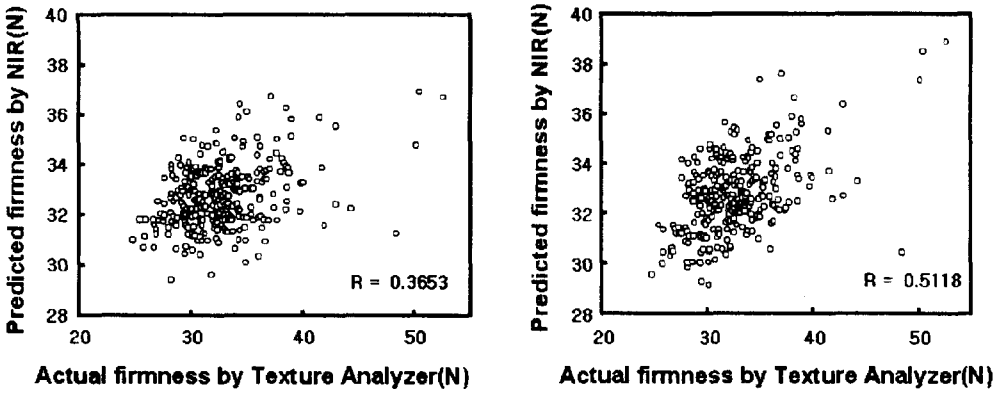


Fig 5. Architecture of ANN model.

근적외선 흡광도와 2차미분값을 입력층으로 한 두 경우에 각각 150,000번과 210,000번을 학습하였을 때, RMSE가 수렴되어 사과의 경도예측을 위한 ANN 모델로 결정하였다.

그러나, 그림 6에 나타낸 바와 같이 미분처리를 하지 않은 근적외선 흡광도를 입력층으로 한 모델은 그 예측모델의 개발에 있어 실측치와 예측치의 상관성을 찾을 수 없었으며 흡광도를 2차 미분한 값을 입력층으로 한 모델은 상관계수가 0.512로 나타나 미지시료를 예측하기에는 역시 어려울 것으로 판단되었다.



(a) Calibrating apple firmness by ANN model using raw spectra.

(b) Calibrating apple firmness by ANN model using 2nd derivative spectra.

Fig 6. Calibration for apple firmness by ANN models.

4. 요약 및 결론

본 연구는 근적외선 분광분석법을 이용하여 사과의 경도를 비파괴적으로 예측하기 위한

모델을 개발하고자 수행되었다. 분석방법으로서는 400nm에서 1770nm의 파장대역의 흡광도와 흡광도의 2차 미분값을 이용하여 경도를 예측하고자 부분최소제곱회귀법과 인공신경회로망기법을 도입하였다. 이상의 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 부분최소제곱회귀모델에서 가장 양호한 결과를 나타낸 파장대역은 900nm에서 1100nm였으며, 이 때의 최적 요인수는 11개였다. 그러나, 경도 예측을 위한 결정계수는 0.182로 나타나 미지 시료를 이용하여 검증하기에는 미흡한 것으로 판단되었다.

(2) 인공신경회로망모델에서는 흡광도를 그대로 입력층에 이용하기보다는 2차 미분한 값을 입력데이터로 하는 것이 더 양호한 결과를 나타냈는데, 상관계수 또한 0.365에서 0.512로 상승하였다. 그러나 미지 시료를 예측하기에는 여전히 미흡한 것으로 판단되었다.

(3) 본 실험의 결과로 볼 때 당도 등의 화학적인 성분변화와는 달리 과일의 경도는 물리적인 변화에 기인하는 것으로, 외형적으로 어떠한 내부 성분변화를 관찰하기 어려운 점이 있어 근적외선에 의한 경도예측은 어려울 것으로 판단되었다.

5. 참고문헌

1. 김형욱. 1995. 근적외선 분광분석법에 의한 과실의 비파괴 당도 측정. 서울대학교 석사학위논문.
2. 西村 功ら. 1990. 品質評價技術の實用化. 青果物の貯藏・流通の新技術.
3. 市川哲生ら. 1992. 近赤外重回歸分析裝置とその應用. 島律評論 別刷. 49(1・2):11-18
4. 岩尾俊男ら. 1995. 青果物の分光反射特性と流通評價. 農産物性研究. 5:75-129.
5. 天間毅ら. 1990. 近赤外分光法によるリンゴ糖度の測定. 第6回 非破壞計測シンポジウム. 98-102.
6. Kawano, S., H. Watanabe and M. Iwamoto. 1992. Determination of sugar content in intact peaches by near infrared spectroscopy with fiber optics in interactance mode. J. Jpn. Soc. Hort. Sci. 61(2):445-451.
7. Williams, P. and K. Norris. 1987. Near-Infrared Technology in the Agricultural and Food Industries. American Association of Cereal Chemist, Inc., St. Paul, MN.
8. Osborne, B. G. and T. Fearn. 1986. Near Infrared Spectroscopy in Food Analysis. John Wiley & Sons, Inc., New York.