

사과 경도의 비파괴측정을 위한 검량식 개발 및 정확도 향상을 위한 연구

손미령 · 조래광
경북대학교 농화학과

Development of Calibration Model for Firmness Evaluation of Apple Fruit using Near-infrared Reflectance Spectroscopy

Mi-Ryeong Sohn and Rae-Kwang Cho^{*}

Department of Agricultural Chemistry, Kyungpook National University

Abstract

Using Fuji apple fruits cultivated in Kyungpook prefecture, the calibration model for firmness evaluation of fruits by near infrared(NIR) reflectance spectroscopy was developed, and the various influence factors such as instrument variety, measuring method, sample group, apple peel and selection of firmness point were investigated. Spectra of sample were recorded in wavelength range of 1100~2500nm using NIR spectrometer (InfraAlyzer 500), and data were analyzed by stepwise multiple linear regression of IDAS program. The accuracy of calibration model was the highest when using sample group with wide range, and the firmness mean values obtained in graph by texture analyser(TA) were used as standard data. Chemometrics models were developed using a calibration set of 324 samples and an independent validation set of 216 samples to evaluate the predictive ability of the models. The correlation coefficients and standard error of prediction were 0.84 and 0.094kg, respectively. Using developed calibration model, it was possible to monitor the firmness change of fruits during storage frequently. Time, which was reached to firmness high value in graph by TA, is possible to use as new parameter for freshness of fruit surface during storage.

Key words : near-infrared spectroscopy, non-destructive evaluation, apple fruit, fruit firmness, texture analyser, monitoring

서 론

과실의 경도는 원예산업에 있어서 중요한 과제로 여겨지고 있는데 선도를 판단할 수 있는 척도와 상품성을 결정하는 중요한 요소로 작용하며 수확적기를 예측할 수 있는 지표로 여겨지기도 한다. 지나치게 단단하거나 혹은 연화된 경우는 소비자의 선호도가 떨어질 뿐만 아니라 저장이나 유통기간 중 상처나 부패가 일

어나기 쉬우므로 경도에 따라 선별한 후 저장, 유통하며 저장동안 연화 정도를 수시로 체크하여 과실의 상품성을 관리하는 것이 중요하다. 과실의 경도는 사람이 직접 먹어보거나 혹은 기기를 사용함으로써 가장 잘 알 수 있지만 측정 후 상품성이 소실되고 개수가 많은 경우는 발췌검사를 해야하므로 과실 개체간의 차이가 큼을 고려할 때 올바른 평가법이 아니라 할 수 있다. 따라서 측정 후에도 상품성을 유지할 수 있고 개별검사를 할 수 있는 비파괴 측정기술이 필요하다.

최근 과실의 품질을 비파괴적으로 측정하기 위한 기술로 근적외분광분석법을 이용한 연구가 활발히 진행되고 있는데 당도와 산도 등 맛에 관계되는 성

Corresponding author : Rae-kwang Cho, Department of Agricultural Chemistry, Kyungpook National University, Taegu, 702-701, Korea

분에 대한 연구보고(1-9)는 많으나 경도 측정에 관한 보고는 거의 없는 실정이다.

본 연구진은 근적외 분광분석법을 응용하여 후지사과의 경도 측정을 시도한 연구를 전보(10)에서 발표하였는데 비파괴 측정정확도가 다소 낮아서 이를 개선하기 위한 추가연구가 필요하다고 판단되었다. 품질측정용 검량식의 정확도를 향상시키기 위해서는 기존 분석법에 의한 정확한 데이터 취득이 가장 우선적인 과제라 할 수 있다. 과실의 경도 측정시에는 측정자나 측정기기 등에 의한 오차가 크므로(11) 보다 정확하고 재현성이 있는 경도 데이터를 얻기 위해서는 경도측정에 영향을 줄 수 있는 다양한 영향인자들을 검토할 필요가 있다.

따라서 본 연구에서는 근적외 분광분석법을 응용하여 후지사과의 경도를 비파괴 측정하기 위한 검량식 작성에 있어서 측정정확도에 영향을 주는 인자들 즉, 경도 측정기와 측정방법, 사과시료의 범위와 과피유무 등을 조사하였으며 저장 중 경도변화를 연속적으로 monitoring 하기 위한 가능성을 검토하였다.

재료 및 방법

재료

사과는 1996년과 1997년 경상북도 지역에서 수확된 후지품종을 구입하였으며 크기가 비교적 일정하고(270~300g) 외형과 착색이 고른 것을 선별하여 2℃의 저온고에서 4개월 동안 보관하면서 실험에 사용하였다. 저온고에서 꺼낸 사과는 실온(~20℃)에 방치하여 과피에 이슬이 맺히지 않게 된 후 적외선 온도계(HT-11, Minolta Co., Japan)로 사과 표면의 온도를 측정하여 약 15℃ 부근이 되었을 때 근적외 스펙트럼과 경도를 측정하였다.

경도 측정

경도는 사과의 적도부분을 fruit hardness tester (FHM-5型, 5mm diameter, 10mm depth, Japan)와 texture analyser(TA-XT2i, Stable micro systems Co., UK)를 사용하여 측정하였다. Fruit hardness tester는 손에 쥐고 측정하거나(Fig. 1. A) 실험용 스탠드에 고정시켜 사과를 올려놓은 lifter를 수직상승 시키면서 측정하였다(Fig. 1. B). Texture analyser는 직경 5mm의 needle probe를 부착하여 사용하였으며(Fig. 1. C) 초당 5mm의 속도로 20mm 깊이까지 사과에 침투시킨 후 측정된 그래프 상에서 최고값과 평균값을 각각 경도 데이터로 사용하였다(Fig. 2). 유평상태뿐만 아니라

제칼로 과피를 약 1cm 정도 제거한 박피상태에서도 경도를 측정하였으며 모든 시료는 1개당 3부위에서 각각 경도를 측정한 후 평균하여 데이터로 사용하였다

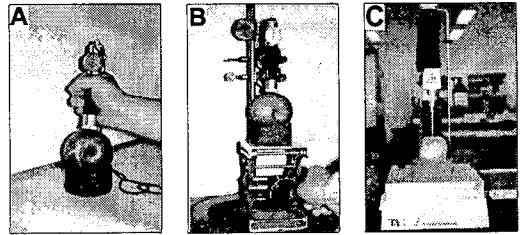


Fig. 1. Firmness measurement of apple fruit using fruit hardness tester(A, B) and texture analyser(C).

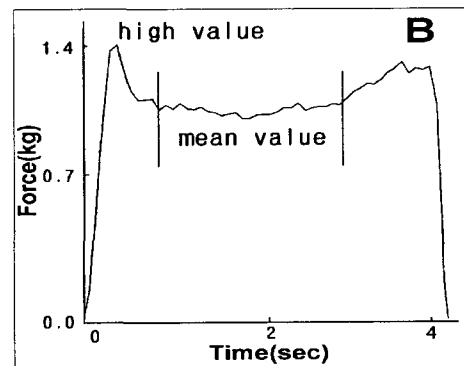
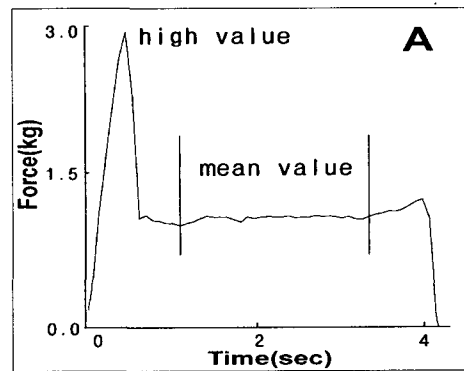


Fig. 2. Decision of firmness high value and mean value in graph was obtained by texture analyser of apple fruit with(A) and without(B) peel.

근적외 스펙트럼 측정

사과 시료의 근적외 스펙트럼은 연구용 분광분석장치(InfraAlyzer 500, Bran+Luebbe Co., Germany)를 사용하여 1100nm에서 2500nm 까지 2nm 간격으로 확산반사 방식으로 측정하였다(1,2,10).

비파괴측정 검량식 작성 및 검증

경도계에 의해 측정된 경도데이터와 근적외 흡광도 데이터 간에는 IDAS(InfraAnalyzer Data Analysis Software, Bran + Luebbe Co., Germany) 프로그램을 사용하여 중회귀분석(multiple linear regression analysis)하여 검량식을 작성하였으며 얻어진 검량식의 정확도는 중상관계수(R), SEC(standard error of calibration) 및 미지시료에 대한 예측오차인 SEP(standard error of prediction)로 확인하였다.

결과 및 고찰

측정기기 및 측정방법에 의한 비파괴 측정 정확도의 영향

119점 사과시료를 fruit hardness tester(FHT)와 texture analyser(TA)로 각각 경도를 측정 후 가해진 힘의 최고값을 경도데이터로 사용하여 2파장에서 9파장으로 구성된 검량식을 작성하였으며 미지시료 78점에 적용시켜 가장 정확한 결과만을 Table 1에 나타내었다.

FHT를 손에 쥐고 측정한 후 얻어진 경도데이터를 사용한 경우, 3파장으로 구성된 검량식에서 측정된 경도값과 근적외 예측값 간의 중상관계수는 0.66이었고 미지시료에 대한 예측오차(SEP)는 0.149kg로서 측정정확도가 상당히 낮았는데 이는 측정자의 자세나 경도계가 고정되지 않아 발생한 오차로 인해 정확한 경도데이터를 얻을 수 없었기 때문으로 사료된다. 이러한 측정상의 오차를 개선하기 위하여 경도계를 고정시킨 후 경도를 측정하였는데 그 결과, 9파장으로 구성된 검량식에서 중상관계수는 0.76이었고 0.65~1.64kg의 측정범위 내에서 0.167kg의 측정오차를 나타내어 FHT를 손에 쥐고 측정한 경우보다 정확도가 다소 향상되었다. 그러나 이 방법도 lifter의 상승속도와 probe의 침투 깊이가 일정하지 않아 경도데이터의 재현성이 낮았다.

Table 1. The results of MLR analysis between NIR spectrum data and firmness high value of apple fruits without peel

Instrument	Range (kg)	Mean (kg)	Terms ^{a)}	R	SEC (kg)	SEP (kg)
fruit hardness tester (non-fixing)	0.61 ~ 1.32	0.89	3 ^{b)}	0.66	0.132	0.149
fruit hardness tester (fixing)	0.65 ~ 1.64	1.07	9 ^{c)}	0.76	0.147	0.167
texture analyser	0.81 ~ 1.62	1.06	8 ^{d)}	0.78	0.101	0.116

R : Multiple correlation of coefficient.

SEC : Standard error of calibration(n=119).

SEP : Standard error of prediction(n=78).

^{a)}Terms : number of used wavelength for calibration equation.

^{b)}1408, 2076, 2064nm

^{c)}1390, 1216, 2404, 2440, 1700, 1228, 1958, 1174, 2236nm

^{d)}1754, 1772, 1760, 2314, 2320, 2122, 1390, 1210nm

Probe의 침투속도와 깊이가 일정한 전 자동식 TA를 사용하여 경도를 측정 후 검량식을 작성한 결과, 8파장으로 구성된 검량식에서 중상관계수는 0.78이었고 0.81~1.62kg의 측정범위 내에서 측정오차(SEP)는 0.116kg로 가장 정확하였으며 상기 FHT를 사용한 경우와 비교할 때 가장 비파괴 측정정확도가 높은 것으로 나타났다. 따라서 이하 실험에서는 TA를 사용하여 경도를 측정하였다.

시료 범위에 의한 비파괴 측정정확도의 영향

수확기의 사과시료 110점을 유포상태에서 TA로 측정한 후 최고 경도값을 사용하여 검량식을 작성하였고 미지시료 70점을 대입하여 경도예측 정확도를 조사하였다(Table 2). 그 결과, 2파장에서 9파장으로 구성된 검량식의 중상관계수가 0.6 미만으로서 낮은 상관을 나타내었고 F-value도 8.0 미만으로 낮아 전체적으로 불안정한 검량식으로 판단되었다.

산 함량치의 범위가 넓은 사과시료로 검량식을 작성한 경우 비파괴 측정정확도가 향상된 것(2)에 착안하여 본 실험에서도 경도치의 범위가 넓은 시료를

Table 2. The results of MLR analysis between NIR spectrum data and firmness high value of apple fruits with peel at harvest season

Used wavelength(nm)	R	SEC(kg)	SEP(kg)	F-value
1784, 1840	0.354	0.213	0.228	7.65
1780, 1840, 1772	0.381	0.212	0.228	5.99
1780, 1848, 1772, 1760	0.469	0.203	0.213	7.40
1780, 1848, 1772, 1760, 1100	0.504	0.200	0.223	7.08
1780, 1840, 1772, 1760, 1100, 1836	0.527	0.198	0.234	6.60
1780, 1840, 1772, 1760, 1104, 1564, 1108	0.544	0.196	0.228	6.12
1780, 1840, 1772, 1760, 1104, 1564, 1108, 1776	0.566	0.194	0.231	5.95
1780, 1840, 1772, 1760, 1104, 1564, 1108, 1776, 1756	0.574	0.193	0.233	5.47

Range : 2.91~3.93kg

Mean : 3.40kg

R : Multiple correlation of coefficient. SEC : Standard error of calibration(n=110).

SEP : Standard error of prediction(n=70). F-value : Mean square of regression/mean square of error.

수집하기 위하여 수확기 사과와 2℃에서 4개월간 저장 하면서 한달 간격으로 100개씩 채취한 저장사과를 모두 합하여 검량식 작성용 시료로 사용하였다. 수확기 사과의 최고 경도값의 범위는 2.9~3.9kg인데 반하여 2개월간 저장한 경우는 2.2~4.3kg이었고 4개월간 저장한 경우는 2.0~3.9kg으로서 저장기간이 길어질수록 점차 감소하는 경향을 나타내었으며 저장 전에 비해 저장 4개월 후 약 8~15%의 감소율을 보였다(Table 3).

Table 3. Changes of firmness high value of apple fruits during storage for 4 months at 2℃

Storage time (month)	Firmness(kg)	
	Range	Mean ^{a)}
0	2.8~4.4	3.43
1	2.7~4.2	3.40
2	2.2~4.3	3.18
3	2.4~4.2	3.24
4	2.0~3.9	2.93

^{a)}significant at $p \leq 0.05$

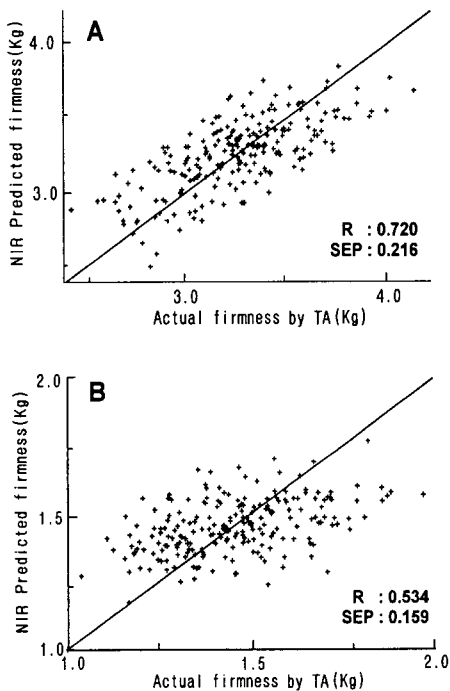


Fig. 3. Scatter plot of NIR predicted versus measured firmness high value of combination apple fruits with(A) and without(B) peel. Combination apple fruits mean sum of harvesting season and stored apple fruits.

총 540점 중 324점 시료의 유피상태에서 측정된 최고 경도값을 사용하여 검량식을 작성한 후 미지시료 216점에 대입한 결과, 1748, 1848, 2244, 2252, 2388nm의 5파장으로 구성된 검량식에서 중상관계수는 0.72이었고 미지시료에 대한 측정오차(SEP)는 0.216kg으로 가장 정확하였으며 (Table 4) 수확기 사과로 작성한 검량식 보다 정확도가 향상되었음을 알 수 있다. 측정된 경도치와 근적외 예측치 간의 관계를 Fig. 3에 나타내었다.

과피 유무에 의한 비과피 측정정확도의 영향

사과의 껍질을 제거하여 즉, 박피상태에서 경도를 측정된 후 유피상태로 측정된 경우와 비과피측정 정확도를 상호 비교하였다(Table 4). 324점 사과시료의 박피상태에서 측정된 최고 경도값을 사용하여 검량식을 작성한 후 미지시료 216점에 대입한 결과, 8파장으로 구성된 검량식에서 미지시료에 대한 측정오차(SEP)가 0.159kg으로 가장 낮았지만 검량식의 중상관계수가 0.53으로 낮은 상관을 나타내어 정확도는 상당히 낮았다. 경도 실측치의 범위는 1.0~2.0kg인 반면 근적외 예측치의 범위는 1.2~1.7kg으로 Fig. 3에서 보듯이 가로로 퍼진 분포를 나타내었으며 유피상태로 측정된 경우보다 정확도가 훨씬 낮음을 알 수 있다. 최고 경도값은 probe가 과피에서 과육을 통과할 때 과피 과육에 의해 나타나는 힘의 값으로서 유피상태로 측정할 경우 대부분 측정초기에 나타나는 반면 박피상태로 측정할 경우는 측정초기나 혹은 과심부의 영향으로 측정후기에 나타나기도 한다. 따라서 경도계를 사용하여 최고 경도값을 얻을 경우 박피상태 보다 유피상태로 측정하는 것이 보다 더 정확함을 알 수 있었다.

Table 4. The results of MLR analysis between NIR spectrum data and firmness high value of apple fruits* with and without peel

Sample group	Range (kg)	Mean (kg)	Terms ^{a)}	R	SEC (kg)	SEP (kg)
apple with peel	2.38~4.13	3.25	5 ^{b)}	0.72	0.213	0.216
apple without peel	1.04~1.98	1.45	8 ^{c)}	0.53	0.150	0.159

*Combination of harvesting season and stored apple fruits.
 R : Multiple correlation of coefficient.
 SEC : Standard error of calibration(n=324).
 SEP : Standard error of prediction(n=216).
^{a)}Terms : number of used wavelength for calibration equation.
^{b)}1748, 1848, 2244, 2252, 2388nm
^{c)}1808, 1844, 1228, 2484, 2500, 1304, 1804, 1800nm

경도치 채택기준에 의한 비파괴 측정 정확도의 영향

324점 사과시료를 유피와 박피상태로 각각 경도를 측정 후 과육부에 대한 평균 경도값을 데이터로 사용하여 검량식을 작성한 결과를 Table 5에 나타내었다. 유피상태로 측정 후 경우, 8파장으로 구성된 검량식에서 중상관계수는 0.84이었고 미지시료에 대한 측정오차(SEP)는 0.094kg으로 가장 정확하였으며 최고 경도값을 사용한 경우보다(Fig. 3. A) SEP가 낮아서 측정정확도는 더 높았다. 박피상태로 측정 후 경우, 2파장으로 구성된 검량식에서 중상관계수는 0.78이었고 미지시료에 대한 측정오차(SEP)는 0.097kg으로 가장 정확하였으며 최고 경도값을 사용한 경우보다(Fig. 3. B) 훨씬 높은 측정정확도를 나타내었다. 유피상태와 박피상태에서 측정 후 평균 경도값과 근적외 예측값 간의 관계를 Fig. 4에 나타내었는데 박피상태보다 유피상태에서 측정 후 경우가 조금 더 정확한 것으로 나타났다.

상기의 결과를 요약하면, 경도치의 범위가 넓은 사과시료 그룹을 사용하여 TA로 유피상태에서 경도를 측정 후 과육부에 해당하는 평균 경도값을 데이터로 입력하여 비파괴측정용 검량식을 작성한 경우 미지시료에 대한 예측정확도가 가장 높음을 알 수 있었다. 경도측정용 검량식의 상세한 내역은 아래와 같다.

$$\begin{aligned} \text{경도(kg)} = & 2.658 - 98.016 \times \text{OD}_{\text{at } 1868\text{nm}} \\ & + 66.856 \times \text{OD}_{\text{at } 1876\text{nm}} \\ & - 11.468 \times \text{OD}_{\text{at } 2468\text{nm}} \\ & - 93.929 \times \text{OD}_{\text{at } 1728\text{nm}} \\ & + 131.859 \times \text{OD}_{\text{at } 1740\text{nm}} \\ & - 4.978 \times \text{OD}_{\text{at } 1436\text{nm}} \\ & + 26.069 \times \text{OD}_{\text{at } 2364\text{nm}} \\ & - 16.146 \times \text{OD}_{\text{at } 2312\text{nm}} \end{aligned}$$

Table 5. The results of MLR analysis between NIR spectrum data and firmness mean value of apple fruits* with and without peel

Sample	Range (kg)	Mean (kg)	Terms ^{a)}	R	SEC (kg)	SEP (kg)
apple with peel	0.87~1.68	1.23	8 ^{b)}	0.84	0.086	0.094
apple without peel	0.73~1.49	1.10	2 ^{c)}	0.78	0.091	0.097

*Combination of harvesting season and stored apple fruits
 R : Multiple correlation of coefficient.
 SEC : Standard error of calibration(n=324).
 SEP : Standard error of prediction(n=216).
^{a)}Terms : number of used wavelength for calibration equation.
^{b)}1868, 1876, 2468, 1728, 1740, 1436, 2364, 2312nm
^{c)}1816, 1828nm

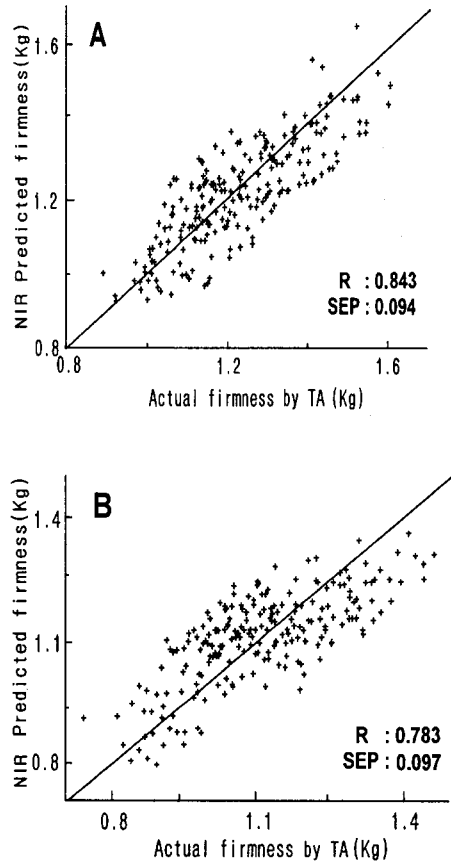


Fig. 4. Scatter plot of NIR predicted versus measured firmness mean value of combination apple fruits with(A) and without(B) peel. Combination apple fruits mean sum of harvesting season and stored apple fruits.

최고 경도값 도달시간에 의한 경도표현 가능성 조사

사과시료 30개를 30℃ 항온기에서 6주간 저장하면서 1주일 간격으로 5개씩 취하여 TA로 경도를 측정 후 5개 시료에 대한 평균 경도값을 그래프로 나타내어 가속화에 따른 변화를 관찰하였다(Fig. 5). 저장기간이 길어질수록 최고 경도값의 봉우리가 점점 낮아지면서 우측으로 점차 이동되는 경향을 나타내었다. 이는 TA의 probe가 사과과피를 통과하는 시간이 지연된 것을 의미하는데 과육조직의 연화로 세포벽이 분해되고 probe에 대한 저항이 낮아져 스펀지처럼 밀리기 때문에 일어나는 현상으로 추정된다.

수확기 사과와 2℃에서 4개월간 저장하면서 한달 간격으로 채취한 사과시료 총 230점을 사용하여 최고 경도값 도달시간의 비파괴측정을 위한 검량식을

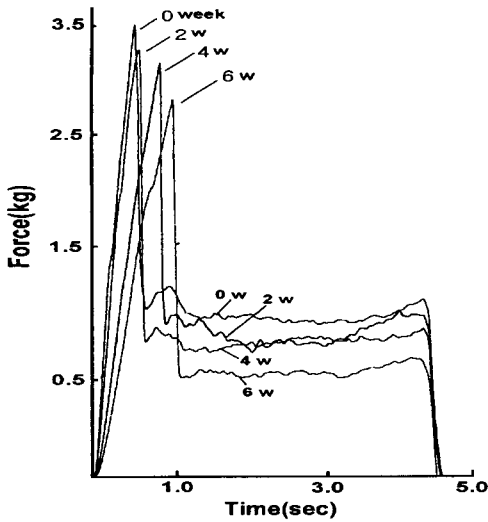


Fig. 5. Change of firmness graph by TA of apple fruits with peel during 6 weeks storage at 30°C.

작성한 후 미지시료 154점에 대입하여 측정 정확도를 조사하였다(Table 6). 2파장에서 9파장으로 구성된 검량식 중 1932, 1972, 1704, 2092, 2332 및 2288nm의 6파장으로 구성된 검량식에서 중상관계수는 0.73이었고 측정범위 0.34~0.66sec내에서 0.04sec의 측정오차(SEP)를 나타내었다. 작성된 검량식의 측정정확도는 높은편이 아니었지만 경도범위가 넓은 시료들을 사용한다면 검량식의 정확도는 좀 더 향상될 수 있을 것으로 기대되며 이 factor는 과실표면의 시든 정도 즉, 신선도를 판단할 수 있는 척도로 사용할 수 있을 것으로 사료된다.

최근 일본에서 개발되어 키위나 멜론 등의 연화정도를 판정하는데 사용되고있는 'HIT COUNTER'는 이와 유사한 원리로서 연화에 따른 과실표면의 탄성정도를 응용하여 속도를 비파괴 측정할 수 있는데 과피를 파손하지 않고 측정하는 HIT COUNTER에 의한 경도값과 파열방식의 기존 경도계에 의한 경도

값 간에 높은 상관성을 나타낸다고 보고하고 있다(12).

이상의 결과로부터 기존의 경도계에 의한 물리적 수치로만 표현되어온 경도값은 측정 시 많은 오차요인을 가지고 있음을 알 수 있었는데 과실의 경도를 내부 세포벽 물질들과 관련지어 나타낼 수 있는 방법을 모색함으로써 좀 더 과학적인 경도표현이 가능할 것으로 예상되며 이를 위한 별도의 연구가 진행 중에 있다.

저장 중 경도변화의 연속측정

30개 사과시료를 근적외 스펙트럼만 측정하고 파쇄하지 않은 채 2°C의 저온고에 보관한 뒤 한달 후 다시 꺼내어 동일한 시료부위의 스펙트럼을 측정하고 다시 저온고에 보관하여 이와 같은 방법으로 4개월 동안 한달 간격으로 총 4회에 걸쳐 30개 사과시료 각각의 근적외 스펙트럼 데이터를 취하였다. 사과시료에는 측정 전 미리 스펙트럼 측정부위를 각각 표시해두었으며 저장 중에도 동일한 부위의 스펙트럼을 측정함으로써 개체간 부위에 따른 영향은 없는 것으로 간주하였다.

상기 작성해 둔 검량식, 즉 TA를 사용하여 유포상태에서 평균 경도값을 사용하여 작성한 경도측정용 검량식(Table 5)에 30개 사과시료의 근적외 스펙트럼 데이터를 적용하여 저장 중 시료의 경도변화를 예측하였으며 그 결과는 Fig. 6과 같다. 저장에 따라 경도값은 일반적으로 완만한 감소율을 보였는데 저장초기에 경도가 높은 사과는 저장 후에도 높은 경도를 유지하였으며 저장초기에 경도가 낮았던 사과는 저장 후에도 대체로 낮은 경도를 유지하는 경향이어서 개체간의 경도 감소율은 거의 일정한 것으로 나타났다. 따라서 저장 후 높은 경도를 유지할 것으로 예상되는 사과만을 저장 전에 미리 선별하는 것이 가능할 것으로 판단되며 이를 통해 부족한 저장고의 효율을 극대화할 수 있을 것으로 기대된다.

Table. 6. The results of MLR analysis between NIR spectrum data and time for high firmness value of apple fruits* with peel

Used wavelength(nm)	R	SEC(kg)	SEP(kg)	F-value
1924, 1940	0.611	0.046	0.047	67.67
1924, 1940, 2492	0.619	0.045	0.046	46.69
1936, 1972, 1104, 2112	0.700	0.041	0.042	54.16
1932, 1972, 1108, 2136, 2324	0.718	0.040	0.040	47.67
1932, 1972, 1704, 2092, 2332, 2288	0.731	0.040	0.040	42.62
1932, 1972, 1216, 2092, 2332, 2288, 1224	0.737	0.039	0.041	37.73
1932, 1972, 1216, 2092, 2332, 2288, 1224, 2492	0.743	0.039	0.041	34.00
1932, 2492, 1216, 2052, 2332, 2200, 1224, 2016, 1208	0.762	0.038	0.043	33.92

*Combination of harvesting season and stored apple fruits

Range : 0.34~0.67sec

R : Multiple correlation of coefficient.

SEP : Standard error of prediction(n=154).

Mean : 0.50sec

SEC : Standard error of calibration(n=230).

F-value : Mean square of regression/mean square of error.

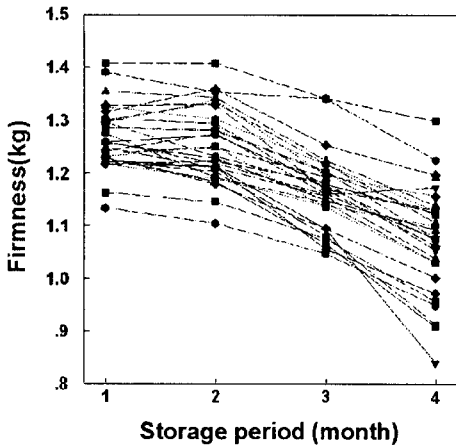


Fig. 6. NIR monitoring of firmness changes in apple fruits during 4 months storage.

Firmness level indicate mean value of apple fruit with peel, which were predicted applying NIR spectrum data of 30 apple sample using the calibration model for firmness indicated at Table 5.

요 약

근적외 분광분석법을 응용하여 후지사과의 경도를 비파괴 측정할 수 있는 검량식을 작성하고 검량식의 정확도에 영향을 줄 수 있는 다양한 영향인자를 조사하였다. Fruit hardness tester (FHM)를 손에 쥐거나 고정시킨 후 측정된 경우보다 Texture analyser(TA)로 측정한 후 얻어진 경도데이터를 사용하여 검량식을 작성한 경우 정확도가 더 높았다. 검량식 작성용 시료는 수확기의 사과시료들로 작성한 경우보다 수확기와 저장한 사과를 합하여 경도치의 범위가 넓은 시료그룹으로 검량식을 작성한 경우 정확도가 보다 향상되었다. 과피의 유무도 영향을 주었는데 박피상태보다 유피상태로 측정된 경우 정확도가 더 높았으며, 박피와 유피상태 모두 TA에 의해 얻어진 그래프상에서 최고 경도값보다 과육부에 해당하는 평균 경도값을 데이터로 사용한 경우 더 높은 정확도를 나타내었다. 근적외 분석법에 의한 사과경도의 비파괴측정은 경도치의 범위가 넓은 시료그룹을 사용하여 유피상태에서 TA로 측정된 후 평균 경도값을 데이터로 사용하여 검량식을 작성한 경우 가장 높은 측정정확도를 나타내었으며, 이때 경도 실측치와 근적외 분석시간의 상관계수는 0.84 이었고 0.87~1.62kg의 측정범위 내에서 약 0.09kg의 오차로 경도예측이 가능하였다. 최고 경도값에 도달하는 시간의 factor로서 과실의 신선도를 나타낼 수 있으며 비파괴측정

가능성도 확인하였다. 작성된 경도측정용 검량식을 사용하여 저장 중 사과 경도의 변화를 파손하지 않고 개체마다 연속 모니터링 하는 것이 가능한 것으로 판단되었다.

감사의 글

본 연구는 농림수산부의 첨단기술기획과제의 지원을 받아 수행된 연구의 일부로서 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Cho, R. K., Sohn, M. R. Kwon, Y. K. (1998) New observation of nondestructive evaluation for sweetness in apple fruit using near infrared spectroscopy. *J. Near Infrared Spectrosc.*, 6, A75-A78
2. Sohn, M. R. and Cho, R. K. (1998) Nondestructive evaluation of free acid content in apples using near-infrared spectroscopy. *Korean J. Agric. Chem.*, 41(3), 234-239
3. Kawano, S., Abe, H. and Iwamoto, M. (1995) Development of a calibration equation with temperature compensation for determining the brix value in intact peaches. *J. Near Infrared Spectrosc.*, 3(4), 211-218
4. Guthrie, J., Wedding, B. and Walsh, K. (1998) Robustness of NIR calibrations for soluble solids in intact melon and pineapple. *J. Near Infrared Spectrosc.*, 6, 259-265
5. Miyamoto, K. and Kitano, Y. (1995) Non-destructive determination of sugar content in satsuma mandarin fruit by near infrared transmittance spectroscopy. *J. Near Infrared Spectrosc.*, 3, 227-237
6. Miyamoto, K. (1998) Classification of high acid fruits by PLS using the near infrared transmittance spectra of intact satsuma mandarins. *J. Near Infrared Spectrosc.*, 6, 267-271
7. Dull, G. G., Birth, G. S., Smittle, D. A. and Leffler, R. G. (1989) Near infrared analysis of soluble solids in intact cantaloupe. *J. Food Sci.*, 54(2), 393-395
8. Dull, G. G., Leffler, R. G., Birth, G. S. and Smittle, D. S. (1992) Instrument for nondestructive measurement of soluble solids in honeydew melons. *Transaction of the ASAE*, 35, 735
9. Slaughter, D. C., Barret, D. and Boersig, M. (1996) Nondestructive determination of soluble solids in

- tomatoes using near infrared spectroscopy. *J. Food Sci.*, 61(4), 695-697
10. Cho, R. K., Sohm, M. R., Kwon, Y. K., Lee, K. H. and Park, W. C. (1998) Possibility of the Non-destructive quality evaluation of apples using near-infrared spectroscopy. *Korean J. Agric. Chem.*, 41, 153-159
11. Laura, L. S. (1996) Instrument and operator effects on apple firmness readings. *Hortscience*, 31(6), 994-997
12. Takao, H. and Ohmori, S. (1994) Nondestructive hardness meter for fruit. In nondestructive quality evaluation of horticultural crops, Dull, G. G., Iwamoto, M. and Kawano, S.(Editors), Saiwai Shobou Publishing Co., Ltd., Tokyo, Japan. p. 34-51
-
- (1998년 12월 10일 접수)