

NIR에 의한 감귤 내부 성분예측(I) - 자세의 영향

Internal Quality Measurement of Citrus Using NIR Spectroscopy(I)

- The Effect of Different Placement -

이강진¹ 최규홍¹ 최영훈² 손재룡¹ 최동수¹ 김기영¹
정희원 정희원 정희원 정희원 정희원 정희원
K.J.Lee K.H.Choi Y.H.Choi J.Y.Son D.S.Choi G.Y.Kim

1. 서론

근적외선을 이용한 과일 내부 품질판정장치는 크게 반사식과 투과식 두가지로 나눌 수 있다. 일본의 경우 반사식은 주로 사과나 배, 복숭아처럼 과피가 얇은 과종에 적용되고, 투과식은 감귤과 같이 과피가 두꺼운 과종에 적용되는 것이 일반적이다.

반사방식은 근적외선을 과일에 조사했을 때 입사된 광이 과일 내부를 침투 및 확산하여 다시 표면으로 되돌아나오는 채반사광(또는 확산반사광)을 검출함으로써 내부의 성분을 예측하는 방식이다. 그러나, 이 방식은 감귤과 같이 과피가 두꺼운 과일은 과피의 영향으로 내부 정보를 알 수 없는 단점이 있다.

투과방식은 과일을 투과한 근적외선을 검출하는 방식으로서 과피는 물론 과육까지 투과할 수 있는 광량을 얻기 위해서는 조사되는 광의 세기를 강하게 해야만 적절한 투과스펙트럼을 얻을 수 있다.

현재, 국내에서 사용되고 있는 감귤 선별기는 각기 크기가 다른 구멍이 난 여러 개의 회전드럼을 회전시키면서 감귤을 이송시킴과 동시에 회전드럼을 거름 망과 같은 역할이 되게 하여 구멍의 크기보다 작은 감귤을 드럼안으로 떨어뜨리며 선별하는 방식으로 즉, 크기에 따라 선별하는 방식을 취하고 있다. 자동 투입장치를 사용할 수 있고 회전드럼의 폭 또는 회전속도에 따라 처리량의 조절이 용이하고 처리량도 다른 과일 선별기에 비해 월등히 뛰어나지만 이 방식으로는 내부의 품질을 판정하기 위한 투과식 내부품질판정시스템을 적용하기 어렵다. 따라서, 투과 방식의 감귤 내부 품질 판정시스템을 개발, 장착하기 위해서는 새로운 선별시스템의 도입이 필요하다.

본 연구에서는 이러한 점을 감안하여 감귤이 평행하게 이송될 수 있는 라인을 제작한 다음, 감귤을 투과할 수 있을 정도로 출력이 센 광원과 어레이방식의 CCD센서를 이용하여 실시간으로 당도판정 가능성 여부에 대한 실험을 수행하였다.

또한, 선별 성능의 향상을 위하여 자동투입장치를 사용한다고 가정할 때, 라인상에 자동 투입되는 감귤의 자세에 따라 정밀도가 어떻게 영향을 받는 지에 대해서도 조사하였다.

1. 농촌진흥청 농업기계화연구소
2. 농촌진흥청 제주농업시험장

내부 성분예측모델 개발용으로, 462개는 개발된 모델의 검증용 시료로서 사용하였다.

나. 감귤의 내부 품질측정

투과스펙트럼을 측정된 감귤 전체를 착용하여 당도, 산함량 등을 측정하고 각각에 대해 부분최소제곱회귀법을 이용하여 성분의 비파괴 예측모델을 개발하고자 하였다.

다. PLS 회귀분석과 전처리 기법

측정된 모든 스펙트럼은 감귤의 크기와 광원의 회절 등에 따른 영향을 배제하기 위하여 그림 3에 나타난 바와 같이 MSC, Range-normalization 등 여러 가지 기법으로 전처리 하여 분석에 이용하였다.

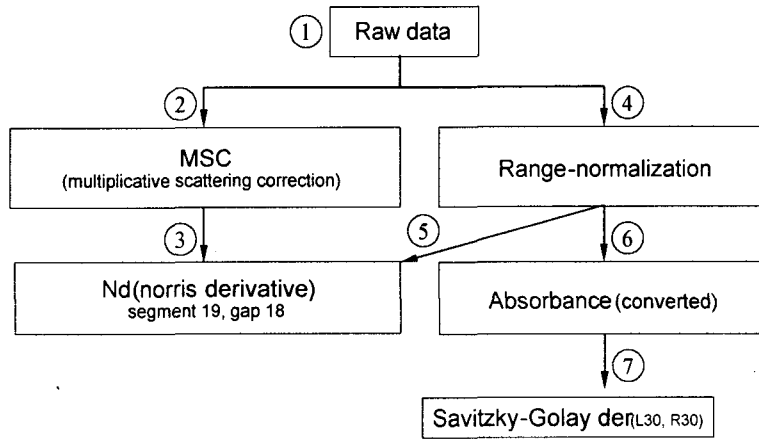


Fig. 3 Preprocessing of transmitted light intensity through citrus

라. 자세에 따른 회귀모델의 정밀도 검증

자동 투입장치를 사용하여 투입할 시 예상되는 자세, 다시 말하면 감귤이 선별용 컵 또는 컨베이어에 안착될 수 있는 자세에 대한 영향을 알아보려고 광원과 CCD배열센서 사이에 편평하게 놓여진 시료들의 투과스펙트럼을 이용하여 개발된 PLS 모델로 다른 자세의 시료 즉, 아래나 위로 광이 투과되도록 했을 때의 시료에 대해 당도와 산함량 등의 품질을 예측할 때의 정밀도를 조사하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 감귤의 품질인자 측정

실험에 사용된 감귤의 내외부 품질 인자의 측정결과는 표 1에 나타난 바와 같다. 시료의 크기는 최소직경 41.5mm에서 56.4mm까지 분포하였고, 산함량은 0.28%에서 1.11%까지, 그리고 당도는 9.2brix에서 14.2brix까지 분포하였다.

2. 재료 및 방법

본 실험에서는 2001년산 제주도 하우스감귤 100개를 이용하였으며, 실험의 순서는 그림 1에 나타낸 바와 같다.

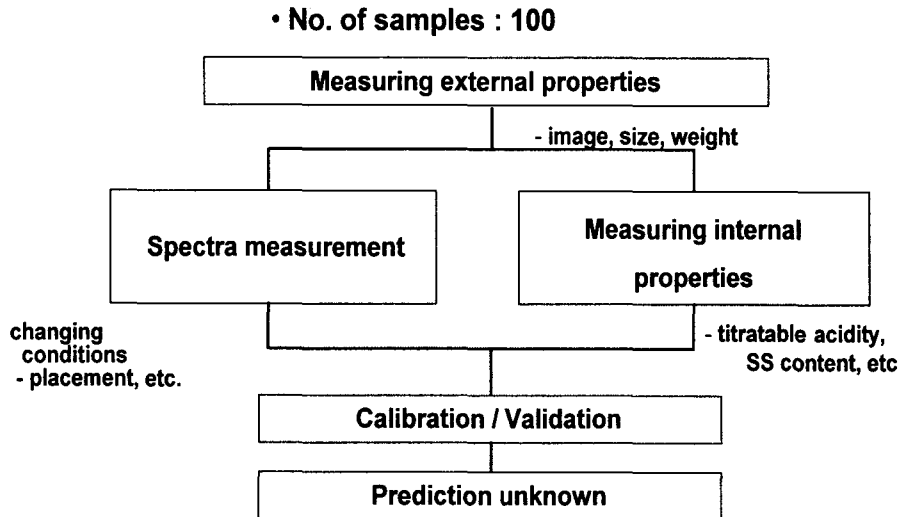


Fig. 1 Flowchart of the calibration and prediction procedure.

가. 외부 품질측정과 감귤투과스펙트럼 측정

먼저 감귤의 영상, 장경과 단경, 높이, 중량을 측정한 다음, 광원과 CCD배열센서 사이에 감귤을 놓고 자세와 노출시간을 달리하면서 투과스펙트럼을 측정하였다. 광원으로는 300W의 할로젠 광원을, 광검출센서로는 2048픽셀의 CCD배열센서를 이용하였다.

감귤의 자세는 편평한 상태에서 감귤의 장축과 광축을 일치하게 한 경우와 장축을 선별라인과 평행한 면상에서 광축과 수직되게 한 경우로 하였다. 한편, 광노출시간은 감귤의 위치를 달리할 때마다 30, 40, 50, 60, 70ms의 5수준으로 하였다.

감귤의 크기에 따른 스펙트럼의 변화를 보정하기 위하여 내부 성분예측모델 개발용, 시료에는 크기가 다른 시료를 사용하였다. 또한, 크기의 차이가 투과광의 세기에 영향을 주기 때문에 광 노출시간을 달리한 시료들 즉, 30, 40, 50, 60, 70ms동안 획득된 투과스펙트럼도 크기가 다른 독립적인 시료로 가정하고 내부품질예측모델 개발에 이용하였다.

따라서, 측정된 모든 스펙트럼에 대하여 부패과를 제외한 925개의 스펙트럼 중, 463개는

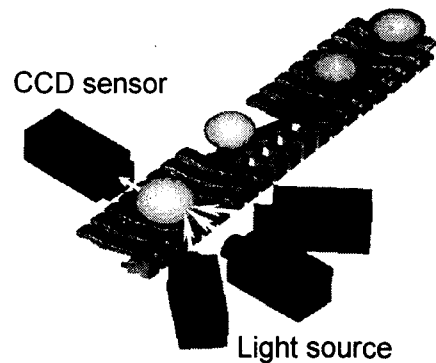


Fig. 2 Transmittance measurement of CCD sensor.

Table 1. Physical properties of samples.

	Size	L	Width(mm)	Height(mm)	Weight(g)	pH	Acidity(%)	SSC(brix)
Minimum	49.90	41.50	48.20	35.70	49.00	3.34	0.28	9.20
Maximum	58.90	58.10	56.40	48.90	76.80	4.48	1.11	14.20
Range	9.00	16.60	8.20	13.20	27.80	1.14	0.82	5.00
Mean	52.92	51.14	51.36	41.01	57.25	3.69	0.64	11.79
SD	1.98	2.11	1.86	2.29	5.55	0.18	0.17	0.94

나. 감귤의 근적외선 투과특성

그림 5에 나타낸 바와 같이 CCD배열센서의 특성상 630nm에서 1200nm까지 측정할 수 있었으나 650nm이하에서는 외부 노이즈의 영향이 심했으며, 955nm 이상에서는 내부 흡수로 인하여 투과스펙트럼이 미약했기 때문에 분석에서는 제외하였다.

감귤의 크기와 자세에 따른 스펙트럼의 차이는 그림 6과 그림 7에 나타낸 바와 같다. 광축상에 놓여진 자세에 따라 스펙트럼의 변이가 크고, 감귤의 크기에 따라서도 클수록 투과스펙트럼의 세기가 줄어들음을 알 수 있다.

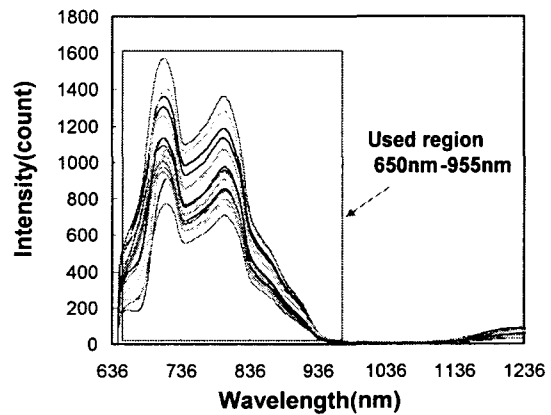


Fig. 5 Transmittance of citrus by the prototype.

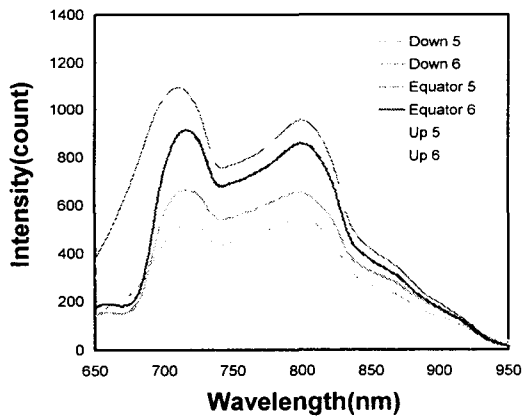


Fig. 6 Intensity changes between different placements of citrus

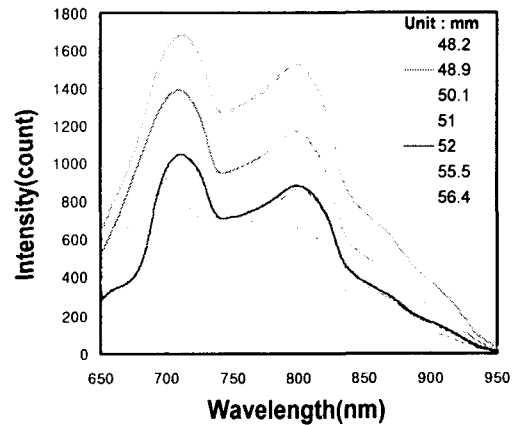


Fig. 7 Intensity changes with different sample size(path length)

다. PLSR을 이용한 당도의 예측

당도 예측용 모델 개발에 있어서 전처리를 하지 않은 모델과 전처리를 한 모델 중 가장 양호한 결과를 나타낸 모델은 Range normalization을 한 후, 다시 1차 미분을 한 경우

였으며, 이 때 개발된 모델의 상관계수와 SEC는 각각 0.936과 0.33brix였다. 그리고, 이 모델을 이용한 미지 시료 462개에 대한 검증에 있어서도 상관계수 0.897, SEP 0.42brix의 아주 우수한 결과를 나타내 실용상으로도 가능성을 알 수 있었다(그림 8).

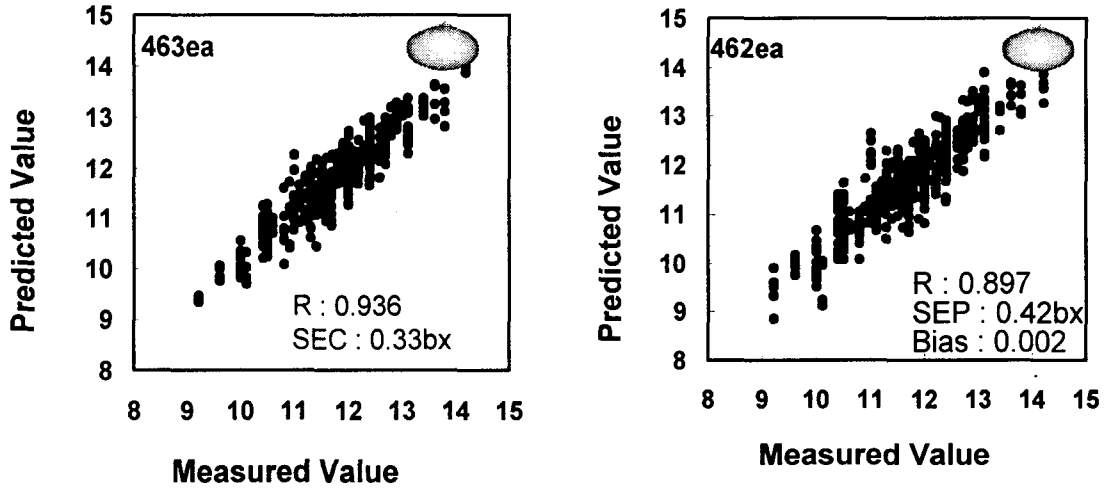


Fig. 8 Calibration and prediction results of PLS model for measuring sugar content in citrus.

그러나, 대부분의 모델들이 산함량의 예측에 있어서는 SEP가 0.137% 정도로 정밀도가 낮았는데, 이는 다른 연구자들의 결과와도 비슷한 수준이다. 일본의 경우에도 산함량의 예측 정밀도는 0.14% 정도임을 감안하면 이 파장대역에서는 이보다 더 양호한 결과를 얻기는 어려울 것으로 판단되었다. 따라서, 실시간 선별기에서는 산함량을 기준으로 할 때 산함량이 극히 많은 과일만을 배제하는 방식을 적용해야 할 것으로 판단되었다.

라. 자세에 따른 정밀도 검증

앞에서 개발된 모델에 대하여, 자동 투입시에 감귤의 자세가 정밀도에 미치는 영향을 알아보기 위하여 감귤의 자세를 달리하여 획득한 스펙트럼에 대해 내부 당도와 산함량을 예측해보았다. 즉, 센서부로 과일 꼭지부가 오게 하거나, 또는 밑면이 센서부로 오도록 감귤을 세워서 측정된 스펙트럼에 대해 당도를 예측한 결과, 과일 밑면이 센서로 향했을 경우 상관계수는 0.774, SEP 0.66brix로서 같은 적도부를 조사한 시료보다 정밀도가 떨어짐을 알 수 있었으며, 꼭지가 센서부로 향했을 경우는 이보다 훨씬 떨어져 SEP가 3brix 이상으로 예측하기 어려움을 알 수 있었다(그림9).

이상의 결과에서 감귤의 경우, 선별기에 투입되는 자세에 따라 정밀도가 떨어지는 것을 확인할 수 있었으며, 이는 감귤내의 공극의 영향과 더불어 꼭지부의 형상 및 엽록소 함량이 스펙트럼을 영향을 주는 것으로 짐작되었다. 따라서 감귤의 정밀 선별을 위해서는 자세를 균일하게 공급해 줄 수 있는 시스템의 개발이 필요할 것으로 판단되었다.

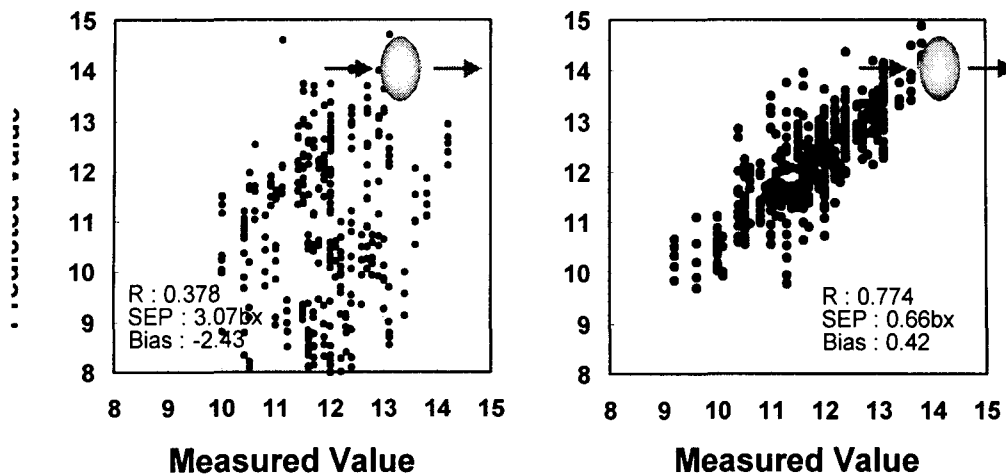


Fig. 9 Results of prediction using different placed samples.

4. 요약 및 결론

본 연구에서는 감귤의 크기와 자세가 투과스펙트럼에 미치는 영향을 살펴보고 획득된 투과스펙트럼으로 감귤의 당도와 산함량을 예측할 수 있는 지 검토하였다.

편평하게 놓여진 감귤의 투과스펙트럼을 이용하여 당도와 산함량 예측모델을 개발하고 미지 시료에 대해 예측한 결과, Range-normalization의 전처리와 1차 미분했을 때 SEC와 SEP가 각각 0.33, 0.42brix로 가장 양호한 결과를 얻을 수 있었다. 그러나, 자세를 세워서 꼭지부가 CCD배열센서로 향하게 할 경우는 당도와 산함량 모두 예측하기 어려웠으며, 바닥면이 CCD배열센서로 향할 경우는 정밀도가 떨어짐을 알 수 있었다. 이로서 자세의 영향이 정밀도에 주는 영향을 확인할 수 있었으며, 선별을 위한 자동 투입시에 자세를 항상 일정한 방향으로 유지할 수 있는 시스템이 선행되어야 할 것으로 판단되었다.

또한, 산함량의 예측은 아직 미흡하지만, 산함량이 많은 과일의 배제를 위해서 사용한다면 실용상으로도 적용가능할 것으로 판단되었다.

5. 참고문헌

2. 이강진, W. R. Hruschka, J. A. Abbott, 노상하, B. S. Park. 1998. 근적외선을 이용한 사과와 당도예측(I). 한국농업기계학회지 23(6):561-570.
3. 최규홍 · 이강진. 1998. 근적외선을 이용한 과일의 당도측정 기술. 농촌진흥청 농업기계화연구소. 농산물 비파괴 품질평가 기술개발 국제세미나 91-124.
4. 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):465-470.