



근적외선을 이용한 실시간 과일 당도 측정 알고리즘에 관한 연구

소민혁*, 한철수**¹, 김학윤**²

A Study on Real Time Fruit SSC Measurement Algorithm Using NIR

Min-Hyeok So*, Cheol-Su Han**¹, and Hack-Yoon Kim**²

요 약

소비자들이 과일을 선택하는 대표적인 기준은 맛에 큰 영향을 주는 당도 값이다. 당도를 측정하는 기존의 방법은 과일의 과즙을 직접 짜서 굴절당도계로 측정하는 것이다. 그러나 이 방법은 과일에 손상을 입혀 판매할 수 없게 된다는 단점을 가지고 있다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위한 방법으로 근적외선을 이용한 비파괴 측정 방법이 제안되었다. 기존의 근적외선 비파괴 측정 방법은 실험에 초점이 맞춰져 있어 고속으로 과일을 선별하는 실시간 선별기에 적용하기에는 부적합하다는 문제점을 가지고 있다. 따라서 본 논문에서는 실시간 고속 선별기에서 사용 가능한 당도 선별 알고리즘을 제안하고자 한다. 제안하는 알고리즘은 노이즈 저감, 기울기 보정, 흡광도 변환, 흡수 대역 강조 과정을 순차적으로 수행하여 초당 10개 이상의 선별에 대응 가능하도록 구성하였다. 제안한 알고리즘의 성능평가는 처리속도의 계산 및 샘플 감광 100개를 이용하여 기존의 방법과 실시간 당도 측정 결과를 비교 평가하여 타당성을 입증하였다.

Abstract

A typical criterion for consumers to choose fruits is soluble solids content(SSC), which has a significant effect on taste. This method of measuring SSC is to directly measure the juice of the fruit with a refractometer. However, this method has the disadvantage of damaging the fruit, which means it cannot be sold. A non-destructive measurement method using Near-InfraRed(NIR) has been proposed as a method for solving such a problem. Conventional methods using NIR are not suitable for application to a real-time system that sorts fruits at high speeds because the focus is on experiments. Therefore, in this paper, we proposed a SSC sorting algorithm that can be used in a real-time system. The proposed algorithm is designed to be able to sort more than 10 fruit per second by sequentially performing noise reduction, slope correction, absorbance conversion, and absorption band enhancement. The performance evaluation of the proposed algorithm proved its validity by comparing the computation of the processing speed and the real-time SSC measurement results with the conventional method using 100 citrus fruit.

Keywords

NIR, fruit quality, nondestructive system, spectroscopy, SSC, sorter

* 청주대학교 전자공학과

- ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6336-1434>

** 청주대학교 전자공학과 교수

- ORCID¹: <https://orcid.org/0000-0001-9515-4392>

- ORCID²: <https://orcid.org/0000-0001-8776-1512>

• Received: Nov. 06, 2018, Revised: Feb. 12, 2019, Accepted: Feb. 15, 2019

• Corresponding Author: Hack-Yoon Kim

Dept. of Electronic Engineering, Cheongju University, 298 Daeseongro, Cheongwon-gu, Cheongju, Chungbuk, 28503, Korea,

Tel.: +82-43-229-8438, Email: hykim@cju.ac.kr

1. 서 론

소비자들이 과일을 선택하는 기준은 주로 가격, 맛, 모양, 크기, 색, 향기 등을 고려하고 있는 추세이다. 특히 이 중에서 맛에 영향을 주고 있는 당도 값이 대표적인 선택기준이 되고 있다. 당도란 과즙에 함유된 당의 비율을 나타내는 것으로 단위는 brix로 표시하고 있다[1].

과일의 당도를 정확하게 측정하는 방법은 믹서나 착즙기를 이용하여 얻은 과즙을 직접 굴절당도계에 넣어 측정하는 것이다. 그러나 이 방법은 과일에 손상을 입혀 판매할 수 없고, 측정 과정도 번거로워 표본 측정으로 전체 과일의 당도를 판정하는 단점이 있다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위해 적외선 영역에서 파장이 짧은 700~2500nm의 근적외선을 이용하는 비파괴 측정 방법이 제안되었다[2].

근적외선을 이용한 대표적인 비파괴 측정방법은 빛을 발생시키는 광원과 빛을 측정하는 검출기의 위치에 따라 반사식, 투과식 두 가지로 나뉜다. 반사식 방법은 과일의 표면에 빛을 가하고 표면을 뚫고 반사되어 나온 빛을 검출기로 측정하는 방법으로 광원과 검출기의 정반사를 피하기 위해 특정 각도로 빛을 가하도록 기구를 구성한다. 또한 이 방법은 표면의 투과길이가 짧아 풍부한 빛으로 스펙트럼을 측정할 수 있다는 장점은 있으나, 부분적인 성분 측정만 가능하다는 단점을 가지고 있다. 반면, 투과식 방법은 과일의 표면에 빛을 가하고 과일에 투과한 빛을 반대쪽 검출기로 측정하는 방법으로 광원과 검출기를 일직선으로 배치한다. 이 방법은 과일을 투과한 빛을 검출기로 측정함으로써 과일의 평균적인 성분 농도의 측정과 내부 결함 등을 판정할 수 있는 장점이 있지만, 투과길이가 길어 부족한 빛으로 스펙트럼을 측정하기 때문에 정밀한 분석 작업이 필요하다는 단점을 가지고 있다[3]. 그러나 감귤, 사과, 자두등과 같은 소형의 과일들은 빛의 투과량이 비교적 풍부하므로 투과식 방식을 많이 이용하고 있는 실정이다.

투과식 방식을 이용한 근적외선 비파괴 측정 방법에 관한 연구는 약 50년 전 곡류나 종자의 수분을 측정한 이후, 1980년대 말, 복숭아의 당도 측정

을 위한 광센서를 개발하면서 과일에 활발하게 적용되고 있다. 최근에는 가시영역과 근적외선 영역 모두를 포함하는 VIS(Visible)/NIR 투과 스펙트럼을 이용하여 성분의 품질을 예측하였고[4], 감귤의 품질을 판정할 수 있는 시스템이 개발되었다[5]. 이후 광원의 상태에 따른 당도, 경도 측정을 평가하였고[6], 전처리 조합에 따른 당도, 산도의 측정 차이를 수행하였다[7]. 또한 이와 같은 당도 측정 기술을 휴대용 장비에 적용하는 연구도 활발히 진행되고 있다[8].

이와 같은 기존의 알고리즘들은 실험에 초점이 맞추어져 있고, 당도 예측 정밀도를 높이는 방법에 대한 연구가 주를 이루고 있다. 또한 소비자들의 다양한 요구조건을 맞추기 위해 도입되고 있는 고속, 고정밀 전자식 중량선별기에 적용하는 것은 실시간 처리를 고려하지 않아 한계가 있을 뿐만 아니라, 실제 실용화 된 사례도 거의 없다. 따라서 본 논문에서는 초당 10개 이상의 고속 선별기에 적용할 수 있는 알고리즘을 제안하고자 한다. 제안한 알고리즘의 성능평가는 당도 선별 총 처리시간의 계산 및 감귤의 당도 예측 평가를 직접 수행하여 실시간 당도 측정의 유용성을 검증하고자 한다.

II. 측정 시스템 구성

본 연구에서 시료의 근적외선 투과 스펙트럼을 측정하기 위하여 그림 1과 같이 S사의 시스템을 이용한다.

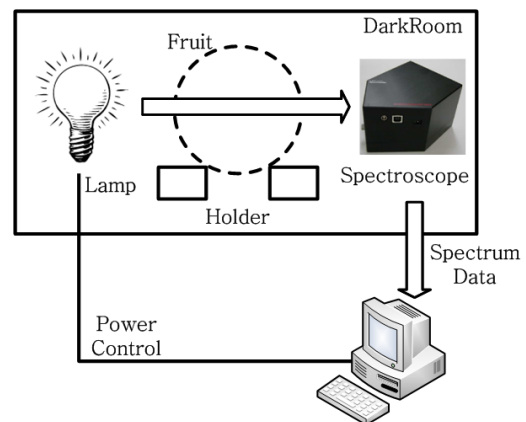


그림 1 시스템 구성
Fig. 1. System configuration

이 시스템은 크게 광원, 분광기, PC, 거치대로 구성되어 있다.

광원은 과일에 충분한 빛을 제공하기 위하여 반사판을 가진 12V-75W의 할로겐램프를 사용하고, 파장에 따른 빛의 양은 광원에 공급되는 전압을 조절하여 수행한다.

분광기는 과일의 분광 스펙트럼을 취득하는 기구로 H사의 C9405CB를 사용한다. C9405CB는 1024포인트의 CCD렌즈를 이용하여 500~1100nm의 파장대역에 대한 빛의 세기를 16비트의 A/D 변환을 통하여 디지털화된 분광 스펙트럼을 구한다. 분광취득 시간은 사용자 선택에 따라 5~10000ms 범위까지 조절할 수 있다. 따라서 보통 실시간 처리를 위해서는 5~20ms의 범위를 선택/조절하며 사용하면 된다. 또한 분광기는 USB 1.1 인터페이스를 가지고 있어 PC와 용이하게 연결하여 사용 가능하다.

PC는 분광기에서 취득한 스펙트럼을 저장하는 역할로 윈도우 기반의 PC를 사용하고, 스펙트럼의 저장은 프로그램을 제작하여 시료마다 저장한다. 저장은 텍스트 파일을 이용해 저장한다.

거치대는 스펙트럼을 측정할 과일을 놓아두는 장치로 S사의 캐리어를 이용한다. 주로 측정하는 시료인 과일은 재배 환경에 따라 크기가 모두 다르기 때문에 거치대는 중간 크기의 과일에서 광원과 분광기가 과일의 중앙이 되도록 위치시킨다. 또한 과일은 전체 면적의 당도가 모두 동일하지 않고 각 부위별로 차이가 있기 때문에, 과일의 중앙을 기준으로 3곳 이상 측정하도록 한다.

III. 근적외선을 이용한 실시간 당도 측정 알고리즘

투과식 근적외선 비파괴 측정 시스템을 이용하는 당도 측정 알고리즘은 과일의 분광 스펙트럼을 측정하고, 분광 스펙트럼 값을 처리, 예측하여 당도 값을 추정한다. 이 때, 당도 예측 정밀도를 향상시키기 위하여 당도 측정 알고리즘에 다양한 전처리를 수행하고 있다[7][9]. 본 연구에서 제안하는 당도 측정 알고리즘의 전체 흐름을 그림 2에 제시한다.

3.1 분광 스펙트럼 측정 및 평균값 계산

분광 스펙트럼의 측정은 광원(할로겐램프)에서 발생된 빛을 과일의 표면에 가하고, 투과한 근적외선을 검출기인 분광기의 CCD로 받아 각 파장별 A/D변환을 수행하여 디지털 값을 구한다.

과일의 당도는 과일의 각 부분에 따라 당도의 값이 다르기 때문에 평균적인 당도 측정을 위해 여러 번 측정을 수행한다. 측정된 분광 스펙트럼은 과일의 크기에 따라 5~10회 얻어지고 얻어진 다수의 스펙트럼에서 대표 값을 설정하기 위하여 평균 스펙트럼을 계산하여 사용하고 있다. 처리가 수행된 스펙트럼의 예를 그림 3에 나타낸다.

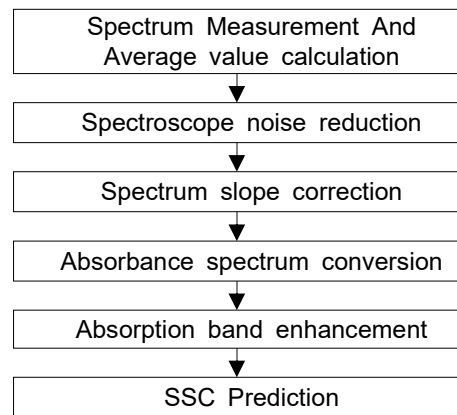
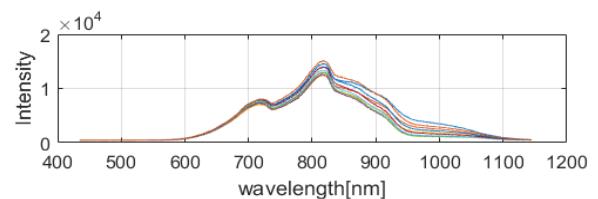
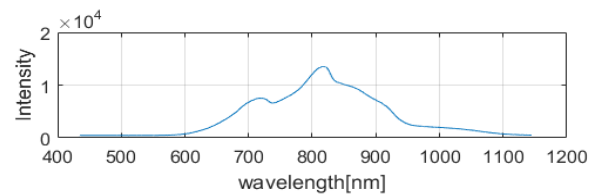


그림 2. 제안한 당도 측정 알고리즘
Fig. 2. Proposed SSC measurement algorithm



(a) 측정 분광 스펙트럼
(a) Measured spectrum



(b) 평균값 스펙트럼
(b) Avg spectrum

그림 3. 측정 분광 스펙트럼과 평균값 스펙트럼
Fig. 3. Measured spectrum and avg spectrum

그림 3에서 가로축은 빛의 파장을 나타내고, 세로축은 빛의 세기를 A/D변환하여 얻은 디지털 값을 나타내고 있다. 위의 그림은 한개 과일에서 얻어진 분광 스펙트럼 나타낸 것이고, 아래는 분광 스펙트럼의 평균값을 나타내고 있다.

3.2 분광기 노이즈 제거

분광 스펙트럼은 분광기에 의한 노이즈가 포함되어 있다. 이러한 노이즈는 당도 측정의 정밀도를 크게 저감하는 요인이므로 스펙트럼 평활화를 수행하여 제거한다. 평활화 방법은 가장 많이 사용되고 있는 식 (1)의 이동평균 방법을 이용하였다.

$$X_i = \frac{1}{W} \sum_{j=-m}^m w_j x_{i+j} \quad (1)$$

$$W = \sum_{j=-m}^m w_j, \quad i = (m+1) \sim (N-m)$$

여기서 X_i 는 평활화를 수행한 분광 스펙트럼의 값, x_i 는 평균 분광 스펙트럼, w_j 는 가중치 계수, i 는 파장, N 은 총 파장 포인트 수, m 은 i 를 기준으로 왼쪽, 오른쪽의 샘플 개수를 나타낸다. $w_j=1$ 일 때가 단순이동평균법이다[9]. 본 논문에서는 과일의 고유한 성분의 손실을 방지하기 위해서 m 의 값을 10으로 하여 처리하였다.

3.3 분광 스펙트럼의 기울기 변화 개선

근적외선 분광 스펙트럼은 샘플의 형태, 크기, 측정환경 등에 따라 빛의 산란으로 기울기에 변화가 발생하므로 SNV(Standard Normal Variate)를 이용하여 정규화를 수행하여 베이스 라인을 보정하고, 기울기 변화를 제거하고 있다. SNV는 Barnes등에 의해 제안된 변환으로 식 (2)를 이용한다[9].

$$\hat{X}_k = \frac{X_k - \bar{X}}{s} \quad (2)$$

이 식에서 \hat{X}_k 는 정규화 값, X_k 는 분광 스펙트럼

의 값, \bar{X} 는 분광 스펙트럼의 평균값, s 는 분광 스펙트럼의 표준편차, k 는 파장을 나타낸다. SNV가 수행된 예를 그림 4에 제시한다. 이 그림에서 가로축은 빛의 파장, 세로축은 SNV를 수행하여 얻은 정규화 값을 나타내고 있다.

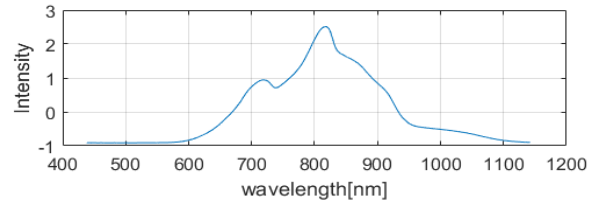


그림 4. SNV를 수행한 분광 스펙트럼
Fig. 4. Spectrum using SNV

3.4 흡광 스펙트럼 변환

SNV가 완료되면, 데이터를 흡광 스펙트럼으로 변환한다. 당도측정은 근적외선 흡수 분광 분석법을 기반으로 수행한다. 흡수 분광 분석법은 과일의 빛의 흡수량을 나타내는 흡광 스펙트럼을 이용하여 수행하는 것으로 흡광 스펙트럼은 Beer-Lambert[10]이 제안한, 식 (3)을 이용하고 있다.

$$abs = \log_{10}\left(\frac{ref}{sample}\right) \quad (3)$$

여기서 abs 는 흡광 스펙트럼, ref 는 광원에 대한 분광 스펙트럼 값을 나타내고, 이 값은 근적외선 차단 필터를 이용하여 광원의 광량을 최대한 줄여 측정하여 구한다. $sample$ 은 측정하는 과일의 분광 스펙트럼을 나타낸다.

흡광 스펙트럼 계산에 사용하는 ref 와 $sample$ 은 분광기에 따라 설정된 임의의 파장을 가진 스펙트럼이기 때문에 샘플이 균일하지 않은 파장 간격을 가지고 있다. 따라서 균일한 등간격의 파장을 만들기 위해 보간법을 이용하여 스펙트럼을 1nm간격으로 650~950nm까지 보간하여 사용한다. 이 파장 범위는 다양한 과일에서 당도 예측에 유용하다고 알려져 있는 영역이다[3]. 보간법은 cubic spline 보간법을 이용하였다. 이와 같이 흡광도 변환을 수행한 예를 그림 5에 제시하였다.

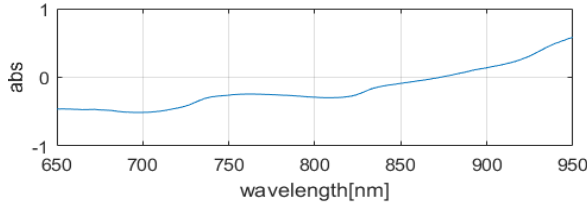


그림 5. 흡광 스펙트럼
Fig. 5. Absorbance spectrum

그림 5에서 가로축은 빛의 파장, 세로축은 흡광도 비율을 나타내고 있다.

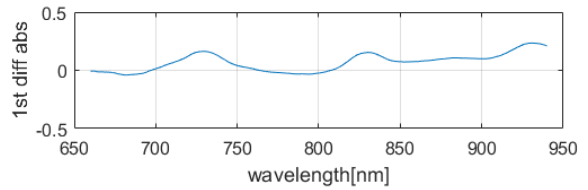
3.5 흡광 스펙트럼 대역의 강조

앞 절에서 계산된 흡광 스펙트럼은 당도, 산도 등과 같은 화학성분이 서로 영향을 주고 있어 흡수대역을 나타내는 부분들이 중첩되어 있다. 이러한 중첩된 흡수대역들은 미분처리를 이용하면 중첩된 흡수대역의 분리, 숨은 흡수대역의 표면화에 효과가 있다. 따라서 산란효과의 감소를 수행하기 때문에 근적외선 스펙트럼에서는 자주 이용되고 있다. 1차 미분 처리는 합산적 변동을 제거 하고, 2차 미분 처리는 곱셈적인 베이스 라인 변동을 제거한다. 또한 2차 미분처리를 수행한 스펙트럼에서는 기존 스펙트럼과 같은 장소에서 역방향의 피크를 주기 때문에, 스펙트럼의 결과를 분석하기 쉽다. 근적외선 스펙트럼은 이산데이터로 얻어지므로, 미분계산은 식 (4)와 같은 차분방정식을 이용한다.

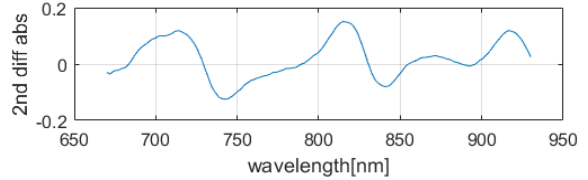
$$\begin{aligned} 1^{st} Diff \quad dx_w &= x_w - x_{w-gap} \\ 2^{nd} Diff \quad d^2x_w &= x_{w-gap} - 2x_w + x_{w+gap} \end{aligned} \quad (4)$$

이 식에서 x_w 은 파장 w 의 스펙트럼 값, gap 은 파장 w 와의 파장거리이다[9]. 이와 같은 차분에 의한 미분처리의 문제점은 노이즈가 증폭되면, 동시에 유용한 신호가 약해지는 경우가 있으므로 실제의 사용에는 주의가 필요 하다. 모든 처리가 완료된 예를 그림 6에 나타낸다.

그림 6의 가로축은 파장, 세로축은 흡광도의 변화량을 나타낸다. 이 그림을 보면, 파형이 넓은 대역폭에서 나타나지 않은 흡수 대역이 명확히 나타나게 된다.



(a) 1st



(b) 2nd

그림 6. 1차(a)와 2차(b) 미분처리된 흡광 스펙트럼
Fig. 6. 1st diff(a) and 2nd diff(b) absorbance spectrum

본 논문에서는 1차 미분 방식을 이용하였고, gap 은 미세한 변화에 영향을 받지 않도록 20nm의 간격으로 하였다[7].

3.6 당도예측

모든 변환이 완료된 데이터는 당도 예측 모델 식 (5)를 이용하여 당도 값을 예측한다[10].

$$Brix = \beta_0 + \beta_1x_1 + \dots + \beta_{n-1}x_{n-1} + \beta_nx_n \quad (5)$$

여기서 x_n 은 각 파장에 따른 흡광도를, β_n 는 통계 처리 기법을 이용하여 구한 회귀 계수를 나타낸다. 회귀계수 β_n 을 계산하기 위한 통계 처리 기법에는 다양한 방법이 있으나, 본 논문에서는 성능이 우수하다고 알려진 부분 최소제곱회귀(Partial Least Squares : PLS) 모델을 이용하였다[11].

PLS의 장점은 구하고자 하는 인자보다 관측된 데이터가 부족하거나 예측변수 사이에 다중공선성이 존재할 때, 유용한 방법이다. PLS는 식 (6)이 서로 독립이고, 동일한 확률 정규 분포를 가진다고 가정하여 X 와 Y 에 영향을 주는 T 와 U 사이의 공분산이 최대화되는 값을 찾는 것이다.

$$\begin{aligned} X &= TP^T + E \\ Y &= UQ^T + F \end{aligned} \quad (6)$$

여기서 X 는 예측변수로 제안한 알고리즘으로 변환한 분광 스펙트럼의 흡광도, Y 는 응답변수로 당도, T 와 U 는 예측변수와 응답변수의 스코어, P 와 Q 는 가중치, E 와 F 는 오차를 나타낸다.

IV 시뮬레이션 및 결과 고찰

4.1 실험조건 및 방법

제안한 알고리즘의 유용성을 판단하기 위해 알고리즘의 처리 수행 시간 및 과일의 당도 예측 성능 평가를 수행하였다.

제안한 알고리즘의 속도 측정은 계측용 프로그램을 Console 환경에서 제작하여 수행하였다. 측정방법은 미리 측정된 감귤 5부분의 분광 스펙트럼을 이용하여 Visual Studio 2017로 수행하였다. 속도 측정 시스템은 PC, CPU i5-3.4GHz, RAM 16GB, Windows 10로 구성하였다.

당도 예측 성능평가는 제주도 서귀포에서 수확된 노지 감귤 360개에 대한 분광 스펙트럼과 실제 당도를 측정하여 이용하였고, 분광 스펙트럼 취득은 온도의 특성을 최소화하기 위해서 약 20℃에서 상온 보관한 상태로 하였다. 실제 당도의 측정은 감귤 전체를 전동원액기로 착즙하고 당도가 고르게 분포될 수 있게 숟가락을 이용하여 혼합한 후, ATAGO사의 굴절당도계 PR-32a를 이용하여 측정하였다. 이중, 260개는 성능 평가를 위한 당도 예측 모델을 계산하기 위해 사용했고, 나머지 100개는 계산된 당도 예측 모델을 이용하여 당도의 예측을 수행하였다.

평가 결과는 당도 예측을 수행한 감귤 100개의 당도 예측결과와 측정값을 분포그래프로 표현하여 확인하였다. 또한 당도 예측 정밀도를 객관적인 수치로 표현하여 판단할 수 있도록 통계적 자료인 결정계수(R^2), 표준 예측 오차(SEP, Standard Error of Prediction), 바이어스(Bias)를 식 (7)~(9)로 구하였다.

$$R^2 = \left(\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})(\hat{y}_i - \bar{\hat{y}})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{\hat{y}})^2}} \right)^2 \quad (7)$$

$$SEP = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [(y_i - \hat{y}_i) - Bias]^2}{n-1}} \quad (8)$$

$$Bias = \sum_{i=1}^n \frac{(y_i - \hat{y}_i)}{n} \quad (9)$$

여기서 n 은 시료의 수, y_i 는 실험에 의한 측정값(brix), \hat{y}_i 는 당도 예측 모델에 의한 예측값(brix), \bar{y} 는 측정값의 평균, $\bar{\hat{y}}$ 는 예측값의 평균을 나타낸다.

결정계수는 당도 예측 모델의 적합도를 나타내는 척도 값으로 1에 가까울수록 상관성이 높아 예측모델이 당도 예측에 적합한 것을 의미한다. 예측 표준 오차와 바이어스는 당도 예측 모델에 의해 구해진 시료의 예측값과 굴절당도계를 이용하여 얻어진 측정값의 차이에 대한 평균과 표준편차를 나타내고, 0에 가까울수록 예측모델이 당도 예측에 오차가 작은 것을 의미한다.

4.2 실험결과 및 고찰

제안한 알고리즘의 속도 측정은 10회를 수행하였다. 모든 과정은 하나의 함수로 작성하였고, 관측 기능으로 측정된 값은 표 1과 같다.

표 1. 제안한 알고리즘의 처리시간
Table 1. Processing time of proposed algorithm

Item	Number of call	Min time	Max time	Avg time
Value	10	140μs	520μs	240μs

고속으로 동작하는 선별기는 초당 10개의 선별을 수행하기 때문에, 실시간 시스템에서 알고리즘을 사용하기 위해서는 모든 처리 시간이 100ms이내에 수행되어야 한다. 따라서 표 1과 같이 제안한 알고리즘의 처리속도는 최소 140μs, 최대 520μs, 평균 240μs이기 때문에, 100ms보다 충분히 빠른 시간으로 처리가 완료되므로 실시간 처리에 적합한 알고리즘이라는 것이 검증되었다.

제안한 알고리즘의 당도 예측을 수행한 결과를 그림 7에 예측/측정값의 관계 그래프로 나타내었다.

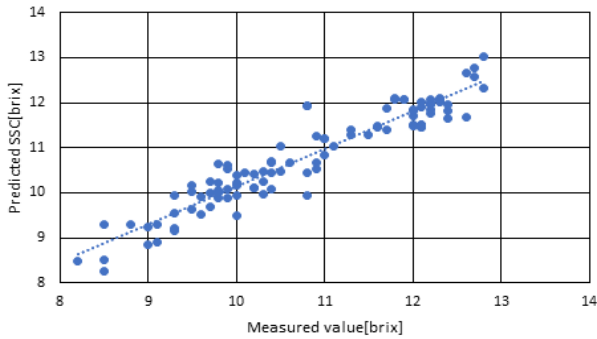


그림 7. 제안한 알고리즘을 이용한 감귤의 당도 예측 결과

Fig. 7. Result of citrus SSC prediction using proposed algorithm

그림 7에서 가로축은 굴절당도계를 이용하여 측정한 감귤의 당도를 나타내고, 세로축은 당도 예측 모델을 이용하여 구한 당도 값을 나타낸다. 그림을 보면, 감귤의 당도는 8 ~ 12.5brix 사이로 고르게 분포되어 있음을 확인할 수 있었다. 100개의 샘플에 대한 예측값과 측정값의 오차는 표 2에 나타내었다.

표 2를 보면 예측값과 측정값의 오차가 98% 1brix 이내로 들어오기 때문에 실제 당도 선별기에 적용 가능성을 알 수 있다. 또한 제안한 방법의 성능을 객관적으로 판단을 위해, 기존의 논문에서 논의된 전처리 조합법과 비교 분석을 수행하였다. 기존방법[5]은 Savitzky-Golay 필터와 MSC방식을 적용하였다. 각 방법의 객관적인 자료로 통계적 수치인 결정계수, 표준 예측 오차, 바이어스 값을 계산하고, 그 결과를 표 3에 제시하였다.

표 2. 감귤 100개의 오차
Table 2. Error of 100 citrus

Error range(brix)	Count
±0.5	79
±1	19
±1.5	2

표 3. 당도 예측을 수행한 통계적 수치
Table 3. Statistical value performed SSC prediction

Method	R^2	SEP	Bias
Conventional	0.85	0.49	0.37
Suggested	0.9	0.4	-0.008

표 3에서 평균값 스펙트럼을 기존방법에 적용한 경우, 당도 예측의 우수성을 나타내는 지표인 결정계수는 0.85, 표준 예측 오차는 0.49, 바이어스는 0.37이었다. 제안한 방법을 적용했을 경우, 결정계수는 0.9, 표준 예측 오차는 0.4, 바이어스는 -0.008이었다. 성능 비교 결과 제안한 방법이 결정계수, 표준 예측 오차, 바이어스의 모든 값에서 좋은 성능을 나타내었다. 따라서 제안한 알고리즘의 예측정밀도가 당도측정 시스템에 적용 가능하다는 것을 확인하였다.

V. 결 론

당도를 선별하기 위한 기존의 알고리즘들은 각 부분별 성능만을 개선한 것이고, 또한 실험실 중심의 시뮬레이션 수준이라는 문제점을 가지고 있다. 따라서 본 논문에서는 각 부분을 통합한 선별 알고리즘을 제안하였고, 제안한 알고리즘은 실시간 당도 선별기에 적용하는 것을 목적으로 하였다.

제안한 알고리즘의 성능 평가는 우선 실시간 시스템에 적용 가능성을 판단하기 위하여 알고리즘의 수행 처리 속도 측정 및 당도 예측 실험을 수행하였다. 우선, 수행 처리 속도를 측정한 결과, 제안한 알고리즘의 수행 처리 시간이 최대 520 μ s 이내에 모든 처리가 완료되었기 때문에 실시간 처리에 적용 가능성을 입증하였다. 그 다음, 샘플 감귤 100개를 이용하여 당도 예측 실험을 수행한 결과, 실측값과 예측값의 오차가 98%, 1brix 이내이기 때문에 실제 당도 선별기에 적용할 수 있음을 알 수 있었다.

또한, 통계 예측 타당성을 조사한 결과, 결정계수는 0.9, 표준 예측 오차는 0.4, 바이어스는 -0.008로 당도 예측 성능도 우수하였다. 더욱이, 기존의 유사 알고리즘의 통계 예측 타당성을 구한 결과, 결정계수 0.85, 표준 예측 오차는 0.49, 바이어스는 0.37를 얻었고, 이 값과 제안한 알고리즘을 비교해 본 결과, 제안 알고리즘이 우수하다는 것을 입증하였다.

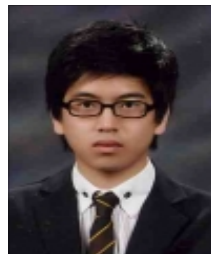
금후에는 제안한 알고리즘을 기반으로 실제 시스템을 구현하고, 이를 적용한 실시간 당도 선별 시스템의 유용성을 확인할 예정이다.

References

- [1] E. Bobelyn, A. S. Serban, M. Nicu, J. Lammertyn, B. M. Nicolai, and W. Saeys, "Postharvest quality of apple predicted by NIR-spectroscopy: Study of the effect of biological variability on spectra and model performance", *Postharvest Biology and Technology*, Vol. 55, No. 3, pp. 133-143, Mar. 2010.
- [2] K. J. Lee, W. R. Hruschka, J. A. Abbott, S. H. Noh, and B. S. Park, "Predicting the Soluble Solids of Apples by Near Infrared Spectroscopy (I)", *Journal of the Korean Society for Agricultural Machinery*, Vol. 23, pp. 561-570, 1998.
- [3] B. M. Nicolai, K. Beullens, E. Bobelyn, A. Peirs, W. Saeys, K. I. Theron, and J. Lammertyn, "Nondestructive measurement of fruit and vegetable quality by means of NIR spectroscopy: A review", *Postharvest Biology and Technology*, Vol. 46, No. 2, pp. 99-118, Nov. 2007.
- [4] H. Y. LEE, "Measurement of the Soluble Solid and Acid Contents in Fruit Juice by VIS/NIR Transmittance", Seoul National University, 2001.
- [5] D. S. Ryu, "Development of Nondestructive Internal Quality Evaluation System for Citrus using VIS/NIR Transmittance Spectroscopy", Seoul National University, 2001.
- [6] Guoqiang Fan, Jianwen Zha, Ran Du, and L. Gao "Determination of soluble solids and firmness of apples by Vis/NIR transmittance", *Journal of Food Engineering*, Vol. 93, No. 4, pp. 416-420, Aug. 2009.
- [7] Ali Moghimi, Mohammad H. Aghkhani, Ameneh Sazgarnia, and Majid Sarmad, "Vis/NIR spectroscopy and chemometrics for the prediction of soluble solids content and acidity (pH) of kiwifruit", *Biosystems Engineering*, Vol. 106, No. 3, pp. 295-302, Jul. 2010.
- [8] A li SARIKAS and Merve DOGRUYOL BASAR, "An electronic portable device design to spectroscopically assess fruit quality", *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, Vol. 25, No. 5, pp. 4063-4076, Feb. 2017.
- [9] Kumi Miyamoto, "Near-Infrared Spectroscopy III. Quantitative Analysis by Near-Infrared Spectroscopy", *Journal of the Spectroscopical Society of Japan*, 53-3, pp. 192-203, 2004.
- [10] Phil Williams and Karl Norris, "Near-Infrared Technology - in the Agricultural and Food Industries", American Association of Cereal Chemists, 1987.
- [11] J. M. Yoon, M. H. So, C. H. Han, and H. Y. Kim, "Comparison of Prediction Models of the Sugar Content for a Nondestructive Sorting System Based on Near-infrared", *Proceedings of KIIT Conference*, pp. 414-417, Jun. 2014.

저자소개

소민혁 (Min-Hyeok So)



2012년 ~ 현재 : (주)에스엔피 시스템 재직중
 2013년 ~ 현재 : 청주대학교 전자공학과(박사과정) 재학중
 관심분야 : 신호처리, 비파괴센서, 과일선별기

한철수 (Cheol-Su Han)



2013년 9월 : 동북대학교(일본) 정보과학연구과(공학박사)
 2013년 9월 ~ 2015년 8월 : 청주대학교, 한국교통대학교 시간강사
 2015년 9월 ~ 현재 : 청주대학교 전자공학과 교육전담 조교수

관심분야 : 음향, 오디오, 신호처리

김학윤 (Hack-Yoon Kim)



1996년 3월 : 동북대학교(일본), 정보과학연구과(공학박사)
 1997년 ~ 현재 : 청주대학교 전자공학과 교수
 관심분야 : 음향신호처리, 3차원 입체음향, 전기음향