

# 근적외선을 이용한 실시간 과일의 당도 측정 시스템 구현

소민혁\*, 한철수\*\*, 김학윤\*\*\*

## Implementation of Real-time SSC Measurement System of Fruits Using the NIR

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

### 요 약

최근 소득이 증대함에 따라, 소비자의 과일 선택 기준이 양에서 질로 변화하고 있다. 이 중에서 과일에 함유된 당의 비율을 나타내는 당도는 맛에 크게 영향을 주어 소비자가 과일을 선택하는 가장 중요한 요소가 되고 있다. 정확하게 당도를 측정하는 대표적인 방법에는 굴절 당도계를 이용하여 착즙하여 측정하는 파괴식 방법이 있으나, 측정 과정에서 과일에 손상을 입히기 때문에 직접적으로 사용할 수 없다는 문제점을 가지고 있다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위하여 과일에 손상을 입히지 않는 비파괴 측정 방법들이 제안되고 있으나, 지금까지 제안된 기존의 방법들은 주로 실험실에서 과일의 당도만을 측정하는 알고리즘에 관한 연구가 대부분이었다. 따라서 본 논문에서는 현재 보급되어 사용하고 있는 고속 전자식 중량 선별기에 과일의 당도를 실제로 측정할 수 있는 실시간 측정 시스템을 제안하고, 그 시스템을 제어할 수 있는 GUI를 구현하고자 한다. 구현한 시스템의 성능 평가는 과일의 당도 측정 정밀도와 재현성을 검증하고, 또한 통계적 수법을 이용하여 제안한 시스템의 유용성을 입증하고자 한다.

### Abstract

With the increase in income, the consumer's standard on fruit selection is changing from quantity to quality. Among them, the soluble solids content(SSC), which represents the ratio of sugars contained in fruits, greatly affects the taste, making it the most important factor for consumer's fruit preferences. A representative procedure of accurate SSC measurement uses the refracting saccharometer. However, this method holds drawbacks to the research procedure for it causes damage to fruit in the process of measurement. To resolve this problem, a non-destructive measuring method has been proposed. Various methods that have been proposed mainly focuses on the algorithm which measures the SSC of fruits. Therefore, the researchers will apply the proposed system that can sort fruits under certain SSC standards onto the currently available electronic fruit sorting machines and provide a GUI (Graphic User Interface) control system. The performance evaluation of the proposed SSC measurement system verifies its accuracy and reproducibility. Moreover, the utility of the proposed system is proved by statistical methods.

### Keywords

NIR, real-time system, fruit quality, nondestructive, SSC, GUI, sorter

\* 청주대학교 전자공학과 박사과정  
- ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6336-1434>  
\*\* 청주대학교 전자공학과 교육전담 조교수  
- ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9515-4392>  
\*\*\* 청주대학교 전자공학과 교수(교신저자)  
- ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8776-1512>

• Received: Nov. 06, 2019, Revised: Mar. 03, 2020, Accepted: Mar. 06, 2020  
• 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](mailto:hykim@cju.ac.kr)

## I. 서 론

소득 증대와 소가족 문화가 발전함에 따라 소비자가 과일을 선택하는 기준이 품질을 중시하는 형태로 변모되고 있다. 이 같은 변화는 과일의 선별 기준을 크기에서 중량으로 변화시켜 가고 있다. 과일의 중량을 측정하는 대표적인 시스템은 “캐리어”라고 불리는 컵 위에 과일을 올려 중량을 측정하는 전자식 중량 선별기를 말하고, 초당 10개 이상을 선별할 수 있는 것을 고속 전자식 중량 선별기라고 한다.

이와 같은 품질을 중시하는 소비자의 욕구에 따라 최근에는 색상, 당도, 향기, 모양 등의 선별도 요구가 되고 있다. 특히, 과일에 함유된 당의 비율을 나타내는 당도(단위: brix)는 맛에 영향을 주어 과일 선별에 가장 중요한 요소가 되고 있다. 당도를 정확하게 측정하는 방법은 과일에서 과즙을 짜서 굴절당도계로 측정하는 방법이 있으나, 이 방법은 측정 과정에서 과일을 손상시켜 판매할 수 없다는 문제점을 가지고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위한 방안으로 과일에 손상을 입히지 않는 비파괴 측정 방법이 제안되고 있다[1]-[3].

비파괴 측정 방법은 과일에 파장이 700~2500nm 인 근적외선을 가하고, 과일에 투과 혹은 반사된 빛을 광학 분광기로 측정하여 당도를 산출하는 기법이다. 이 방법은 굴절당도계를 이용하는 방법에 비해 정밀도가 다소 낮으나, 단순히 빛을 비추어 당도를 산출하기 때문에, 과일에 손상을 입히지 않아 판매할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 이와 같은 비파괴 측정 방법은 크게 반사식, 투과식 두 가지로 대별된다.

반사식은 과일에 투과된 근적외선이 반사되어 나온 빛을 측정하여 처리하는 방법으로 투과 길이가 짧아 풍부한 빛으로 스펙트럼을 측정할 수 있다는 장점을 가지고 있으나, 부분적인 성분 측정만 가능하다는 단점을 가지고 있다[4].

반면, 투과식은 과일에 투과된 빛을 반대쪽 검출기에서 받아 그 값으로 당도를 측정하는 방법이다. 이 방법은 과일의 평균적인 성분 농도를 측정할 수 있고, 내부 결함 등을 관찰할 수 있다는 장점을 가지고 있으나, 투과 길이가 다소 길어 부족한 빛으로

스펙트럼을 측정하기 때문에 정밀한 분석 작업이 필요하다는 단점을 가지고 있다[4]. 그러나 감귤, 사과, 자두등과 같은 소형 과일들은 그 크기가 작아 빛의 투과량이 비교적 풍부함으로 보통 투과식 방식을 이용하고 있다.

이 투과식 방법에 관한 연구는 가시 영역과 근적외선 영역 모두를 사용한 VIS(Visible)/NIR(Near-InfraRed) 투과 분광 스펙트럼을 이용하여 과일의 당도를 예측하는 것을 시작으로 광원의 조사 방법과 전처리 방법에 따른 당도 측정 정밀도를 평가하는 연구들이 진행되었다[5]-[8]. 또 다른 연구로는 과일의 온도 특성과 품종, 계절, 산지, 숙성도가 당도 측정 정밀도에 미치는 영향에 대해서 수행하였다[9]. 최근에는 휴대용 장비에 적용하는 연구[10]와 고속으로 중량을 선별하는 전자식 선별기에 이 방법을 적용하기 위한 연구도 수행되고 있다[11].

지금까지 연구된 대부분의 기존 방법들은 실험실에서 당도 측정 정밀도를 높이는 것에 초점을 맞추고 있다. 이 방법은 과일을 최적의 상태로 놓고, 근적외선을 투과하여 얻어진 분광 스펙트럼을 이용하여 당도를 측정하고 있기 때문에 실제로 과일이 고속으로 이동하는 고속 전자식 중량 선별기에 적용하여 그 성능을 평가한 사례는 전무한 상황이다.

따라서 본 논문에서는 고속으로 이동하는 과일의 당도를 측정하기 위하여 선행연구에서 수행한 알고리즘을 실제 시스템으로 설계하여 비파괴 실시간 당도 측정 시스템을 구축하고, 그 시스템을 제어할 수 있는 사용자 및 기술자가 사용할 수 있는 GUI를 설계하고자 한다. 구현한 시스템의 성능평가는 노지 감귤을 이용하여 실제로 이동하는 과일의 당도 측정을 한 다음, 통계적 분석을 통하여 구현된 시스템의 유용성을 입증하고자 한다.

## II. 실시간 과일 당도 측정 시스템

고속 전자식 중량 선별기는 고속으로 이동하는 “캐리어”에 과일을 올려놓고, 중량에 따라 과일의 등급을 선별하고 있다. 이와 같은 고속 선별기에 과일의 당도를 측정하기 위한 시스템을 탑재하기 위해서는 고속으로 움직이는 시스템에서 취득한 과일의 투과 분광 스펙트럼(이하 : 스펙트럼)이 기존 연

구들에서 취득하여 사용한 상태와 유사한 스펙트럼이 얻어져야 한다[12]. 이와 같은 조건을 만족시키기 위하여 본 논문에서는 그림 1에 제시한 것과 같이 고속으로 이동하는 과일 스펙트럼을 견고하게 취득하기 위한 시스템을 제작하였다.

그림 1에 나타낸 실시간 당도 측정 시스템은 크게 광학부, 제어부, 조작부 3가지로 구성되어 있다. 광학부는 고속으로 이동하는 캐리어(Carrier)에 놓인 과일의 스펙트럼을 취득하는 역할을 하는 부분으로 설계한 광학부의 내부 구조를 그림 2에 나타내었다.

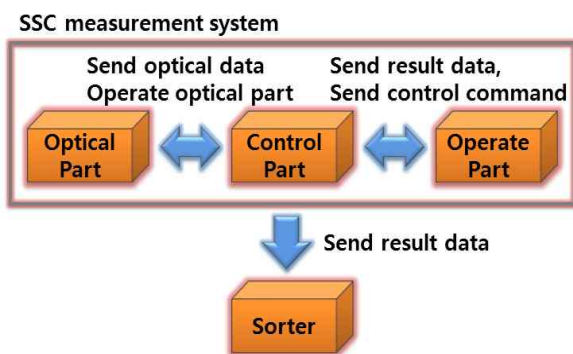


그림 1. 시스템 구성  
Fig. 1. Configuration of a system

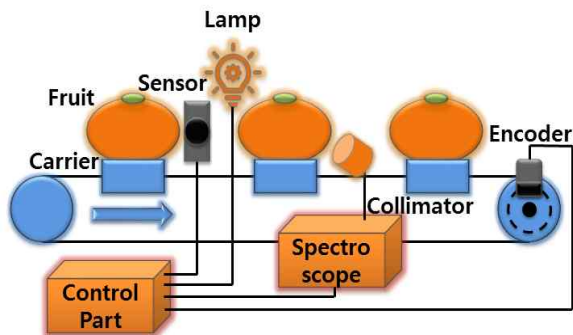


그림 2. 광학부  
Fig. 2. Optical part

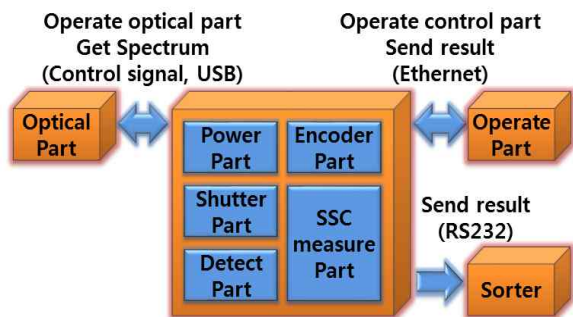


그림 3. 제어부  
Fig. 3. Control part

그림 2에서와 같이 광학부는 광원(Lamp), 분광기(Spectroscope), 센서(Sensor), 엔코더(Encoder), 캐리어(Carrier)로 구성되어 있다. 광원은 반사판을 가진 할로겐 램프로 500~1000nm 대역의 파장을 가진 근적외선을 이용하였고, 분광기는 과일을 투과한 빛의 스펙트럼을 취득하는 부분으로 H사 C9405CB를 사용하였다. 이 분광기는 1024포인트로 출력되는 CCD렌즈를 이용하여 500~1000nm의 파장 대역에 대한 빛의 세기를 16비트로 A/D 변환된 스펙트럼을 얻을 수 있다. 스펙트럼 취득 시간은 선택에 따라 5ms~10s 범위까지 조절할 수 있다. 따라서 초당 10개 이상의 과일을 실시간으로 데이터를 처리하기 위해서는 5~20ms 범위로 선택하여 사용하면 된다. 또한 이 분광기는 USB 1.1 인터페이스를 가지고 있어 PC와 용이하게 연결하여 사용할 수 있다. 구성한 시스템에서는 분광기 앞에 집광기(Collimator)를 이용하여 빛의 굴절에 의한 손실을 최소화하고, 셔터를 장착하여 빛의 차단 여부를 제어할 수 있도록 제작하였다.

캐리어는 스펙트럼을 측정할 과일을 놓아두는 장치로 초당 10개 이상을 선별 가능한 S사의 캐리어 타입 선별기를 이용하였다. 캐리어의 위치는 광원과 집광기가 과일 중앙에 오도록 하였다. 과일의 유/무 판단하기 위해 사용하는 센서는 발광부와 수광부로 구성된 적외선 센서를 사용하였다. 엔코더는 2000개/회전 펄스를 발생시켜 약 0.5mm 단위로 이동거리를 계산할 수 있도록 설계하였다. 캐리어의 이동거리는 과일의 크기, 과일의 스펙트럼을 측정할 위치의 추적 및 선별기에 측정된 당도 데이터를 전송하는 동기화 신호로도 이용되고 있다.

제어부는 광학부를 제어하고, 당도 측정 알고리즘을 이용하여 당도 값을 산출한 다음, 그 결과 값을 조작부와 선별기에 전달하는 역할을 하는 것으로 설계한 제어부를 그림 3에 제시하였다.

그림 3과 같이 설계한 제어부는 전원(Power), 셔터(Shutter), 감지(Detect), 엔코더(Encoder), 당도 측정부(SSC measure)로 구성되고, 광학부를 제어할 수 있도록 설계하였다. 광학부의 광원 제어는 PWM을 이용하였고, 그 외는 5V의 ON/OFF 신호로 제어하였다.

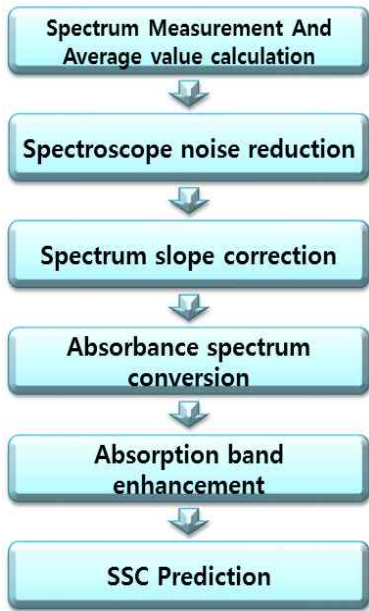


그림 4. 당도 측정 알고리즘  
Fig 4. Algorithm of SSC measurement

당도 측정부는 감지된 과일의 스펙트럼을 이용하여 당도를 추정하는 부분으로 제어부에서 가장 중요한 역할을 한다. 당도 측정부는 실시간으로 분광기에서 스펙트럼을 취득하는 작업과 과일의 당도를 산출하는 작업을 동시에 처리되도록 설계하였다. 당도 측정에 사용한 알고리즘은 선행 연구에서 수행한 알고리즘을 이용하였다[11]. 그 흐름도를 그림 4에 나타내었다.

그림 4에 제시한 것과 같이, 당도 측정 알고리즘은 스펙트럼 데이터 취득, 전처리, 당도 예측(SSC) 순으로 처리한다.

먼저, 과일에 투과된 근적외선을 분광기로 입력받아, 각 파장별로 A/D변환한 다음, 스펙트럼을 취득한다. 이 때, 한 과일에 6~7회 스펙트럼을 측정한다 다음, 평균 스펙트럼을 계산하여 대표값으로 사용하고 있다.

두 번째로 전처리 과정에서는 얻어진 평균 스펙트럼의 보정 처리를 수행하기 위하여 분광기 노이즈 제거, 스펙트럼의 기울기 개선, 흡광 스펙트럼 변환, 흡광 스펙트럼 대역 강조 처리를 한다.

마지막은 당도 예측의 과정으로 전처리가 완료된 데이터를 당도 예측 모델 식 (1)을 이용하여 당도 값을 결정한다[11].

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

위식에서 Brix는 계산된 당도를,  $x_n$ 은 각 파장에 따른 흡광도를,  $\beta_n$ 는 부분최소제곱회귀(PLS, Partial Least Squares)로 구한 회귀 계수를 나타내고 있다.

이 당도 측정부에서 측정된 당도는 이더넷 통신을 통하여 조작부와 선별기로 전송된다.

### III. 조작부 GUI 설계

조작부는 시스템, 제어부의 설정 변경 및 당도 측정 결과를 모니터링을 하는 것으로 원격지에서 사용할 수 있도록 GUI를 설계하였다. 설계된 GUI는 사용 목적에 따라 엔지니어 모드와 사용자 모드 두가지로 나누어 설계하였고, MS사의 Visual Studio MFC를 이용하여 개발하였다.

#### 3.1 엔지니어 모드

엔지니어 모드는 그림 5에 제시한 것과 같이, 시스템에서 취득하는 스펙트럼과 당도 측정 결과 확인, 시스템 조정 값 설정, 당도 예측 모델 작성을 수행할 수 있도록 구성되어 있다.

그림 5에서 왼쪽 위의 그래프는 분광기에서 취득한 측정하고자 하는 과일의 스펙트럼이 표시되고, 그 아래 그래프는 당도 측정이 완료된 스펙트럼이 표시된다. 오른쪽 위 “측정값”의 그룹 박스에는 당도 측정 알고리즘을 이용하여 측정한 당도 값이 표시되고, 그룹 박스에 표시되어 있는 명칭은 시스템 확장성을 고려하여 설정 모드에서 사용자가 기입할 수 있도록 하였다. 오른쪽 아래 “설정” 그룹박스는 당도 측정 시스템에서 필요한 설정을 수행하는 것으로 제어 보드, 선별기와의 통신 방법 설정, 과일의 측정 조건 설정(분광기 취득시간, 캐리어의 크기, 기계 치수 등) 및 당도 예측 모델의 설정 등을 조정할 수 있다. 그림 오른쪽 “제어 및 측정” 그룹 박스는 광학부 수동 조작을 위한 램프의 ON/OFF, 셔터의 ON/OFF, 분광기 노이즈 측정(바탕 값), 광원의 특성 측정(기준 값), 과일의 스펙트럼 측정(실효 값)을 설정할 수 있다.

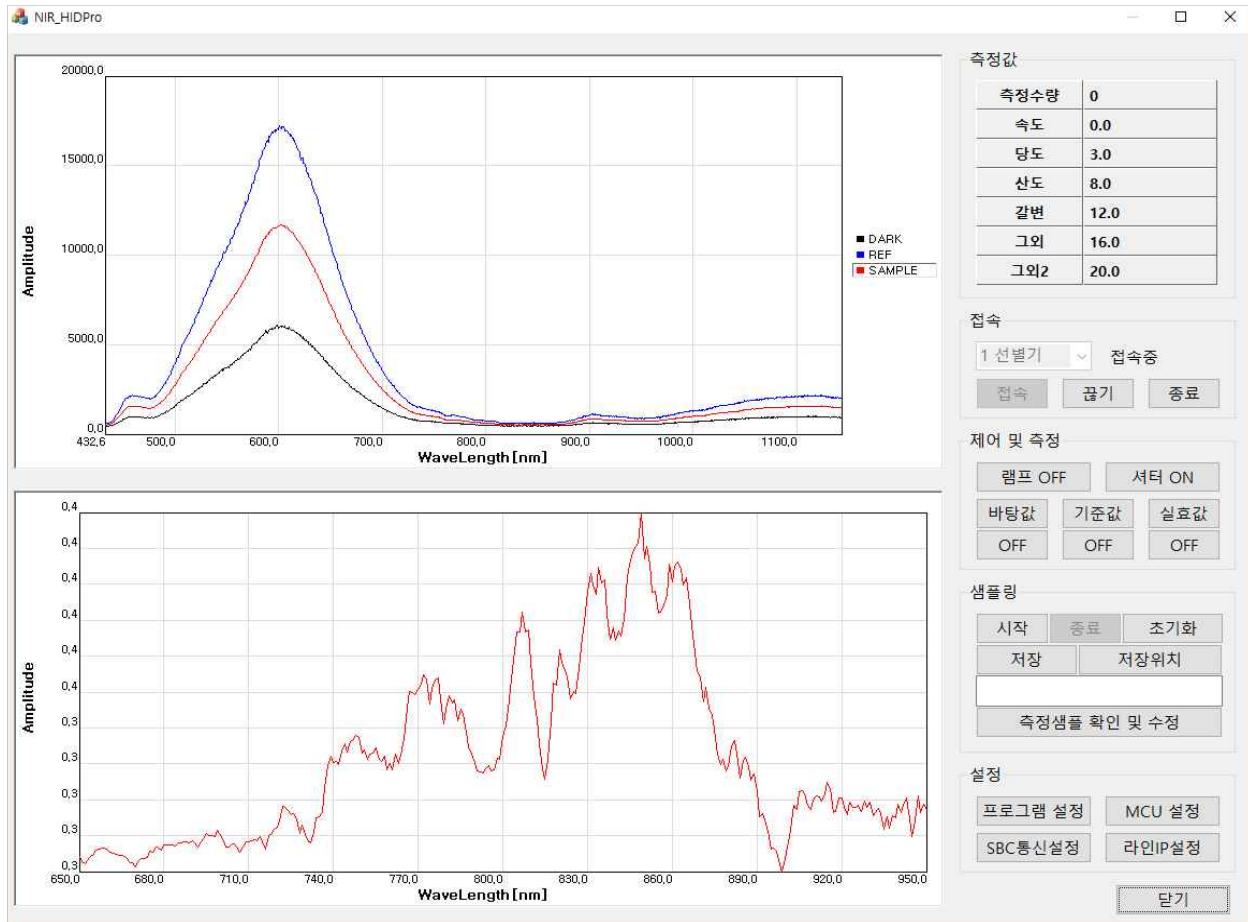


그림 5 엔지니어 모드 GUI  
Fig. 5. GUI of engineer mode

마지막으로 오른쪽 아래에 있는 “샘플링” 그룹 박스는 당도 예측 모델 작성에 사용하는 과일의 스펙트럼을 측정을 수행하는 것으로 “시작” 버튼을 누르면, 측정 기능이 활성화되어 과일이 감지 될 때 마다 스펙트럼을 측정하여 메모리에 저장시키고, “종료” 버튼을 누르면, 측정 기능이 비활성화되어 메모리에 저장되지 않도록 설계하였다.

“측정 샘플 확인 및 수정” 버튼을 누르면, 메모리에 저장된 스펙트럼 확인 창이 나오고, 확인한 스펙트럼이 기구 또는 과일의 문제로 측정이 잘못되었을 때에 파형을 확인한 다음, 삭제여부를 결정할 수 있도록 하였다. “초기화” 버튼을 누르면, 메모리에 저장된 스펙트럼이 모두 삭제되고, “저장” 버튼을 누르면, 메모리에 저장된 스펙트럼을 텍스트 파일로 저장한다. 파일 저장 위치는 “저장위치” 버튼을 눌러 기술자가 설정할 수 있도록 설계하였다.

### 3.2 사용자 모드

사용자 모드는 시스템에서 측정한 당도 측정 결과의 확인, 시스템의 상태 확인, 과종별로 설정한 파일 불러오기를 수행할 수 있도록 설계하였다. 설계한 사용자 모드를 그림 6에 나타낸다.

그림 6에 보인 것과 같이 사용자 모드는 최대 8개의 시스템에 연결하여 제어부의 상태를 확인할 수 있도록 하였다. 화면 오른쪽의 “아이템” 아래 화면에는 측정된 당도가 표시되고, 측정하는 항목의 이름은 확장성을 고려하여 설정에서 사용자가 지정할 수 있도록 설계하였다. 단지 측정된 항목은 화면 구성상 5개만 표시되도록 하였다.

화면 왼쪽 “상태” 아래 화면은 제어부의 상태를 표시하도록 구성한 창으로 접속 여부에 따라 접속이 되어 있지 않으면 빨강, 접속이 되었으면 초록, 오류가 발생한 경우에는 노란색으로 표시되어 제어

부의 동작 상태를 나타내도록 하였다. 상태 창 옆 “속도” 아래에 있는 3가지 버튼은 시스템의 수동 접속, 재시작, 종료 버튼을 나타낸다.



그림 6. 사용자 모드 GUI  
Fig. 6. GUI of user mode



그림 7. 당도 측정 시스템  
Fig. 7. SSC measured system

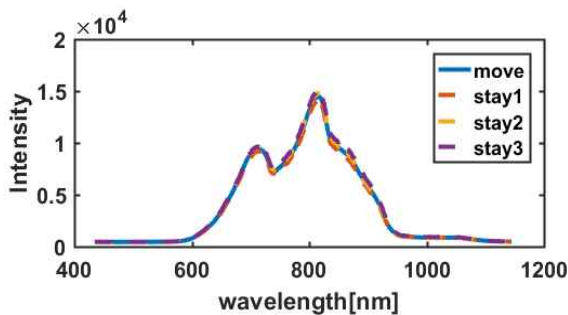


그림 8. 샘플의 스펙트럼  
Fig. 8. Sample spectrum

화면의 위쪽에 있는 버튼들은 시스템 조작 편의성을 위하여 구성된 것으로 전체 종료, 재기동 버튼 및 시스템의 통신 설정을 수행하는 라인설정, 기술자용 모드 버튼을 구비하였다. 이 4개의 버튼은 사용자가 잘못 누르는 것을 방지하기 위하여 일반 상황에서는 보이지 않고, 필요시에 나타나도록 설계하였다. “전체변경” 버튼과 “품종변경” 버튼은 측정하고자 하는 과일에 따라 시스템의 설정을 변경할 수 있도록 하였다. 마지막에 있는 “선별분석”과, “선별내역보기” 버튼은 현재까지 측정한 과일의 당도 값을 그래프와 표로 표시하도록 하여 사용자가 선별 결과를 쉽게 파악할 수 있도록 구성하였다.

#### IV. 실험 및 결과 고찰

본 연구에서 제안한 실시간 당도 측정 시스템의 유용성을 판단하기 위하여 S사의 전자식 고속 중량 선별기에 그림 7과 같이, 제안 시스템을 탑재하고 당도 측정 성능 실험을 수행하였다.

실험에 사용한 샘플은 제주도 서귀포에서 수확된 노지 감귤 640개를 이용하였다. 샘플 640개 중, 540개는 제안한 시스템의 당도 예측 모델을 설정하기 위해 사용하였고[10], 나머지 100개는 당도 측정 실험에 이용하였다. 실험은 선별기의 선별 속도를 초당 10개로 설정한 환경에서 제안한 시스템에 100개의 샘플을 임의의 방향으로 투입하여 당도(예측값)를 구하고 이 샘플의 실제 당도(측정값)를 굴절당도계로 측정하여 비교하였다.

먼저, 제안한 시스템의 스펙트럼 성능을 평가하기 위하여 동일한 감귤의 스펙트럼을 정지 상태와 이동 상태에서 얻은 결과를 그림 8에 나타내었다. 이 그림에서 가로축은 파장을 나타내고 세로축은 세기를 나타내고 있다. 또한 그림 안에서 실선은 제안한 시스템을 이용하여 이동 상태에서 취득한 스펙트럼이고, 파선은 정지 상태에서 취득한 스펙트럼 3 종류를 나타낸다. 이 결과를 보면, 최적 상태인 정지 상태에서 얻어진 스펙트럼과 제안한 시스템을 이용하여 이동 상태에서 얻어진 스펙트럼이 파장별 굴곡이나 세기가 거의 일치하고 있음을 볼 수 있다. 이것을 보면, 고속으로 이동하는 선별기에 제안 시스템을 적용하여 사용하여도 충분하다는 것을 알 수 있다.

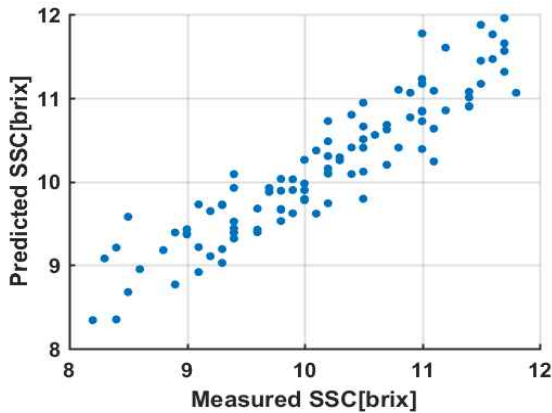


그림 9. 설계한 시스템을 이용한 감귤의 당도 예측 결과  
Fig. 9. Result of citrus SSC prediction using designed system

그 다음, 당도 예측 성능을 평가하기 위하여 노지 감귤 100개를 이용하여 감귤에 대한 당도 값을 측정된 결과를 그림 9에 제시하였다. 그림 9에서 가로축은 실제 감귤의 당도를 실측한 결과를 나타내고, 세로축은 제안 시스템을 이용하여 산출한 당도 값을 나타내고 있다.

이 분포도를 보면, 8~12brix 이내로 산출 당도값과 실측 당도값이 고르게 분포 되어 있음을 확인할 수 있다. 또한, 실측 당도값과 측정 당도값의 오차가 0.5brix 이내인 것이 86%, 1brix 이내인 것이 13%, 1.5brix 이내인 것이 1%로 들어오는 것을 확인하였다. 이 결과는 제안한 시스템을 고속 선별기에 탑재하여 당도를 측정할 때 사용하여도 충분히 적합하다는 것을 보여준다.

마지막으로 제안한 시스템의 실제 고속 선별 시스템의 적용 타당성을 객관적으로 평가하기 위하여 통계 분석을 수행하였다. 사용한 통계 분석 지표는 결정계수( $R^2$ ), 표준 예측 오차(SEP), 바이어스(Bias) 값으로 하였다. 제주 노지 감귤 100개의 통계 분석 결과를 표 1에 제시하였다.

표 1을 보면, 정지 상태에서 감귤의 당도를 측정된 결과와 제안한 시스템을 고속 선별기에 탑재하여 이동 상태에서 감귤 당도를 측정된 경우의 통계 분석 지표와의 오차는  $R^2$ 이 0.03, SEP가 0.07, Bias가 0.138이므로, 당도 측정 정밀도가 매우 우수한 것을 확인할 수 있다. 따라서 본 논문에서 제안한 시스템을 고속 전자식 중량 선별기에 탑재하여 실제로 현장에 적용 가능하다는 것을 입증하였다.

표 1 통계 분석 결과

Table 1. Results of statistical analysis

Method	$R^2$	SEP	Bias
Algorithm[11]	0.9	0.4	-0.008
System	0.87	0.33	0.13

## V. 결 론

비파괴 측정 방법을 이용한 기존의 당도 측정 연구들은 실험실에서 알고리즘 중심으로 이루어지고 있어, 실제 고속으로 이동하는 과일을 선별하는 고속 전자식 중량 선별기에 도입할 수 없다는 문제점을 가지고 있다. 따라서 본 논문에서는 선형과제로 수행한 알고리즘을 이용하여 고속 전자식 중량 선별기에 적용 가능한 시스템을 제작하였고, 시스템을 제어하기 위한 GUI를 설계하였다.

제안한 시스템의 유용성을 입증하기 위해 노지 감귤 100개를 이용하여 당도 측정 성능 평가를 수행하였다. 그 결과, 스펙트럼 비교를 통하여 시스템에 적용 가능성을 확인하였고, 실제 당도 측정을 통하여 실측 당도와 제안한 방법에 의한 측정 당도의 오차가 1brix 이내로 들어오는 것이 99%임을 확인하였다. 또한 객관적인 판단을 위해 통계적 분석을 수행한 결과, 통계 지표인  $R^2$ 이 0.87, SEP가 0.33, bias가 0.13이 얻어져 시스템의 유용성을 확인하였다. 따라서 제안한 시스템을 시판중인 전자식 고속 중량 선별기에 탑재시켜 당도를 측정하여도 타당하다는 것을 입증하였다.

금후에는 과일의 표면 손상을 카메라를 이용하여 검출할 수 있는 알고리즘을 검토하고, 이를 시스템으로 구현하여 유용성을 확인할 예정이다.

## References

[1] B. H. Cho, "Analysis and Design of Fruit e-Commerce System based on IoT", The Journal of Institute of Internet, Broadcasting and Communication, Vol. 18, No. 3, pp. 135-141, Jun. 2018.

[2] E. Bobelyn, A. S. Serban, M. Nicu, J. Lammertyn, B. M. Nicolaï, 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.

[3] 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, No. 6, pp. 561- 570, Dec. 1998.

[4] 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.

[5] V. A. McGlone, R. B. Jordan, and P. J. Martinsen, "Vis/NIR estimation at harvest of pre- and post-storage quality indices for 'Royal Gala' apple", *Postharvest Biology and Technology*, Vol. 25, No. 2, pp. 135-144, Jun. 2002.

[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] Kumi Miyamoto, "Near-Infrared Spectroscopy III. Quantitative analysis by near-Infrared spectroscopy", *Journal of the Spectroscopical Society of Japan*, Vol. 53, No. 3, pp. 192-203, Mar. 2004.

[9] Ann Peirs, Nico Scheerlinck, and Bart M. Nicolai, "Temperature compensation for near infrared reflectance measurement of apple fruit soluble solids

contents", *Postharvest Biology and Technology*, Vol. 30, No. 3, pp. 233-248, Dec. 2003.

[10] Ali SARIKAŞ and Merve DOĞRUYOL BAŞAR, "An electronic portable device design to spectroscopically assess fruit quality", *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, Vol. 25, No. 5, pp. 4063-4076, May 2017.

[11] M. H. So, C. S Han, and H. Y Kim, "A Study on real time fruit SSC measurement algorithm using NIR", *The Journal of Korean Institute of Information Technology*, Vol. 17, No. 3, pp. 95-102, Mar. 2019.

[12] H. J. Kim, M. G. Kang, D. B. Ko, J. J. Kim and H. Y Kim, "A Study on the Smart Care System Using Real-time Object Tracking Technology", *The Journal of Institute of Internet, Broadcasting and Communication*, Vol. 18, No. 6, pp. 243- 250, Dec. 2018.

저자소개

소민혁 (Min-Hyeok So)



2012년 ~ 현재 : (주)에스엔피시스템  
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



김 학 윤 (Hack-Yoon Kim)



1996년 3월 : 동북대학교(일본),  
정보과학연구과(공학박사)

1997년 ~ 현재 : 청주대학교  
전자공학과 교수

관심분야 : 음향신호처리, 3차원  
입체음향, 전기음향