



|                                     |                   |                  |                      |     |
|-------------------------------------|-------------------|------------------|----------------------|-----|
| 과제구분                                | 기관고유              | 수행시기             | 전반기                  |     |
| 전략체계                                | 1-5-1             | 기술분야 및<br>품목표준코드 | P01                  |     |
| 과제번호                                | LP0040682022      |                  | VC010804             |     |
| 과제명                                 |                   | 수행기간             | 과제책임자                |     |
| 표현형 분석기를 활용한 채소 생산 스마트 기술 확립        |                   | '19~'22          | 경상남도농업기술원<br>(원예연구과) | 박은지 |
| 1) 이미지 정보를 이용한 채소 육묘기 스트레스 진단 기술 개발 |                   | '19              | 경상남도농업기술원<br>(원예연구과) | 진효정 |
| 2) 영상정보를 이용한 병해충 진단 기술 개발           |                   | '20~'22          | 경상남도농업기술원<br>(원예연구과) | 박은지 |
| 색인용어                                | 영상정보, 채소, 병해충, 진단 |                  |                      |     |

**초분광영상 데이터를 이용한 딸기 병증 판별 최적 모델 선정**  
**Selection of Optimal Model for Discriminating Strawberry Diseases**

Eun-Jee Park<sup>1</sup>, Hyo-Jeong Jin<sup>1</sup>, Suk-Han Yoon<sup>1</sup>, Woo-il Kim<sup>1</sup>, Hye-sook Yoon<sup>1</sup>,  
and Chan-Seok Ryu<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Gyeongnam Agricultural Research and Extension Services, Jinju, Korea*

<sup>2</sup>*Dept. of Bio-Systems Engineering, College of Agriculture and Life Science,  
Gyeongsang National Univ., Jinju, 52828, Korea*

**ABSTRACT** : Strawberry(*Fragaria × ananassa* Duch) is a high proportion of crops that account for about 10.9% of vegetable production in South Korea as of 2020.

Fusarium wilt, Phytophthora crown rot, and Anthracnose crown rot break out mainly in the early transplant stages, causing significant damage to strawberry plants. In particular, Phytophthora crown rot is a soil infectious disease. It is difficult to medicate once the diseases occur as it requires much time to diagnose and labor to manage the disease. Applying spectral image information and artificial intelligence technologies is considered a robust approach to diagnosing the infection of such diseases in crops rapidly and non-destructively.

In this study, experiments were conducted to develop a model for classifying Phytophthora crown rot and water stress of strawberry plants using a machine learning technique based on the data obtained using hyperspectral image sensors. Modeling was performed using machine learning techniques such as Decision Tree, Random Forest, XGBoost, and LightGBM. Among the four machine learning models, the XGBoost model showed the best performance for hyperspectral image data analysis with most input variables.

This study demonstrated the qualitative classification of strawberry plants infected with Phytophthora crown rot and water stress of strawberry plants using spectroscopic information obtained from hyperspectral image data. The results showed the potential for early prediction before the appearance of disease symptoms on the crops.

**Key word** : strawberry, disease, hyperspectral image, model

### 1. 연구목표

이상기후, 기후변화 등 농업환경 변화는 농업생산자원 변화뿐 아니라 작물의 병해충, 내성, 확산속도 증가 등 농업생산 시스템 전반에 걸쳐 영향을 끼치고 있다(박민정 등, 2021). 또한 병해로 인한 결점과는 생산량 및 상품성을 하락시키고 저장 및 유통 과정 중에서는 정상적인 과실의 품질에 영향을 끼쳐 경제적인 손실을 발생시키게 된다(김대영 등, 2020). 농가에서 병해충 진단을 위해서는 국가기관이나 전문가에게 의뢰 해야하기 때문에 절차가 까다롭고 시간이 걸리며, 최적 방제시기에 대응하지 못하는 물리적 한계가 존재한다. 따라서 농촌 고령화, 병해 전문가 부족, 파괴분석으로 시간과 비용 소모를 해결하고자 딸기의 역병과 수분스트레스를 초분광 영상을 이용하여 정상 개체와의 분류가 가능한 판별 최적 모델을 개발하고자 하였다.

### 2. 재료 및 방법

본 시험은 기술원 내의 하이테크 온실에서 2020년부터 2022년까지 3년간 수행하였으며 재료 및 방법은 아래와 같다.

#### <시험 1> 영상정보 이용 비파괴적 식물 환경스트레스 진단 가능성 분석

본 시험은 기술원 하이테크 온실에서 딸기 역병과 수분스트레스를 판별하기 위해 초분광 영상센서 FX10(Specim, Finland)를 활용하여 영상데이터를 2020년부터 2022년까지 3년간 취득하였다. 영상 취득은 매일 1일 1회 11시에서 12시 사이에 시계열 영상데이터를 취득하였다. 시험작물은 딸기 '설향' 품종으로 하였으며 처리는 무처리, 역병과 수분스트레스 3처리로 구분하여 처리당 1라인을 배분해 라인별 20개체로 총 60개체에 대한 실험을 진행하였다. 토양은 코코피트를 사용하였으며 개별포트에 정식하여 군집 실험으로 진행하였다. 수분스트레스를 제외한 처리구는 1일 2~3회(1회 100~200ml, 날씨에 따라 조절) 관수를 진행하였으며 수분스트레스 처리구는 공급액의 60%만 관수를 진행하였다.

딸기 역병균(*Phytophthora cactorum*)은 충청남도농업기술원 딸기연구소의 보관균주로 실험하였다. 병원성 검정은 PDA 배지에서 7~10일간 23℃로 배양기에서 배양 후 V8배지로 PDA에 자란 역병 균사를 옮겼으며, 유주자낭 발현을 현미경으로 관찰 후 포자 현탁액( $1 \times 10^5$ )을 조제하여 3반복으로 병원성 검정하였다. 역병 접종은 멸균된 가위로 딸기 뿌리를 8cm정도 남기고 잘라 유주자낭이 자란 V8배지를 접촉시켰으며, 딸기 관부에도 포자 현탁액( $1 \times 10^5$ ) 1ml를 주사기로 접종하였다.

초분광 영상 데이터는 자동 영상취득시스템에 탑재된 초분광 센서(Spectral Sensor FX10e, Specim Spectral imaging Ltd, Finland)를 통해 취득하였다. 시계열에 따라 온실 내에서 변화되는 광 조건을 정규화 하기 위해 18% white reference board를 작물과 함께 배치하였다.

취득된 초분광 영상 데이터는 ENVI 5.6 Classic 소프트웨어를 활용하여 암 전류 및 광 보정 후, 식생지수(ExG, Excess Green)를 이용하여 식생을 분리하여 데이터를 추출하였다. ExG 지수는 일반적으로 배경에서 녹색의 식생을 추출하는데 사용되며, 효과적으로 작물과 배경을 분리하기 위해 실험 구간에는 흑색 천을 깔아 실험을 진행하였다. 식생 분리 후 군집별로 관심영역(Region of Interest, ROI)을 나누어 각 군집의 관심영역으로 지정된 픽셀의 파장별 평균값(Mean)을 군집의 반사값으로 지정하여 각 처리 구별 시계열 반사값 데이터를 추출하였다. 본 연구에서는 유효 스펙트럼 범위를 각 초분광 이미지에 대해 214개

(423~978nm)의 대역(wavebands)으로 구성하였다.

데이터 분석은 데이터평활화 유무로 나누어 인공지능 훈련데이터와 테스트데이터를 7:3으로 나누어 학습시켰다. 본 연구에서 활용한 인공지능 기법은 의사결정트리(Decision Tree), 랜덤포레스트(Random Forest), XGBoost와 LightGBM 총 4가지이다(그림 1).

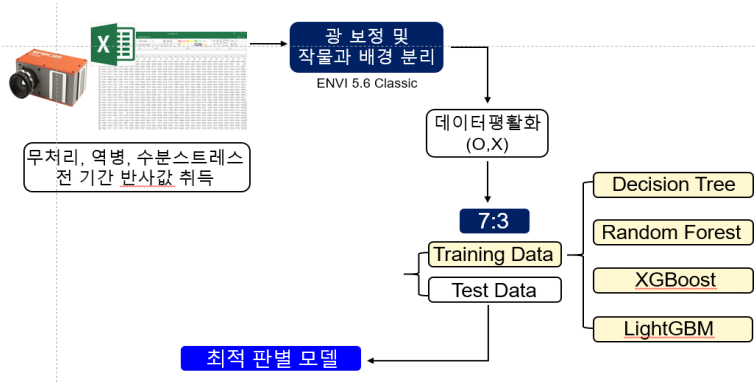


그림 1. 초분광카메라 데이터 분리의 흐름도

### 3. 결과 및 고찰

<시험 1> 영상정보 이용 비파괴적 식물 환경스트레스 진단 가능성 분석

본 연구는 딸기의 환경스트레스 중 역병과 수분스트레스 2가지 처리로 실험을 수행하였다. 딸기 역병은 여름 고온기에 관부와 잎에 발생하며 관부부위에 발생할 경우 뿌리의 기부, 근부, 엽병에도 발생하며 병원균이 토양에서 수년간 생존이 가능하다. 특히 딸기 역병은 토양전염성 병해이기 때문에 한번 발생하면 치료가 어렵다. 물리적인 방제방법은 딸기묘 정식 전 토양이나 상토를 철저히 소독해야 하며 이병주는 발견하는 즉시 바로 제거해야한다(남명현 등, 2022). 그러므로 초분광 영상을 활용하여 딸기 주요 병해인 역병과 생리장애인 수분스트레스를 조기에 판별할 수 있는 판별 모델을 개발하고자 하였다.

딸기 역병균(*Phytophthora cactorum*)의 병원성 검정을 위한 균주는 충청남도농업기술원 딸기연구소에서 보관하여 있는 균주를 사용하여 3반복으로 검정하였다(표 1, 그림 2). 딸기 역병 처리구와 수분스트레스 처리구(기존 금액의 60%)의 최초 증상 발현은 영상촬영일 기준으로 역병은 약13일 뒤에 발현하였고, 수분스트레스 약20일 뒤에 발현하였다(표 1). 약 70일간 초분광 영상취득 후 역병처리구의 모든 처리구의 역병 진단키트 분석 결과 모두 양성으로 역병균(*Phytophthora cactorum*)에 감염된 것을 확인하였다(그림 2).

표 1. 딸기 시험처리구 시험일정

| 정식일자 | 병원성검정 <sup>z</sup> | 영상촬영일 <sup>y</sup> | 역병처리구<br>최초 증상발현일 | 수분스트레스 처리구<br>최초 증상발현일 | 촬영종료일 |
|------|--------------------|--------------------|-------------------|------------------------|-------|
| 3.31 | 4~6월               | 7.6                | 7.19              | 7.26                   | 9.14  |

<sup>z</sup> 병원성검정 : 1차(4~5월) 경남농기원 보관 역병균주, 2차(5~6월) 충남농기원 딸기연구소 보관 역병균주

<sup>y</sup> 영상촬영일: 역병 집중, 수분스트레스 처리(기존 금액의 60%)



역병 유주자낭

병원성검정

역병진단키트<sup>z</sup> 모두 양성

<sup>z</sup> Phytophthora(Phyt) - ImmunoStrip : AG-ISK92601/0025

그림 2. 딸기 역병균(*Phytophthora cactorum*) 병원성 검정 및 역병 진단키트 분석 결과



시험처리구 전체

역병처리구

수분스트레스 처리구

그림 3. 딸기 시험처리구 생육현황

딸기 초분광 영상데이터는 약 70일간 매일 1일 1회 11시에서 12시 사이에 영상을 취득하였으며 무처리, 역병처리구, 수분스트레스처리구의 반사값은 다음과 같다(그림 4). 그림 4의 상단은 평활화하지 않은 반사값 데이터이고 하단은 평활화한 반사값 데이터이다. Yeh 등(2016)은 잎의 감염된 부위에 따라 Spot을 나누어 영상 데이터를 취득하여 비교하였으며 근적외선 영역의 파장에서 감염 단계에 따라 스펙트럼의 기울기가 변화되는 경향성은 존재하지만, 스펙트럼 패턴을 관찰하는 것만으로는 감염 단계를 구분할 수 없다고 보고하였다. 본 연구에서 취득된 영상데이터 반사값 또한 처리 방법에 따라 시기별 분광 그래프를 변화되지만, 역병 감염 개체와 정상 개체의 분광 곡선을 패턴만으로 구분하는 것은 어려운 것으로 판단되었다(그림 4).

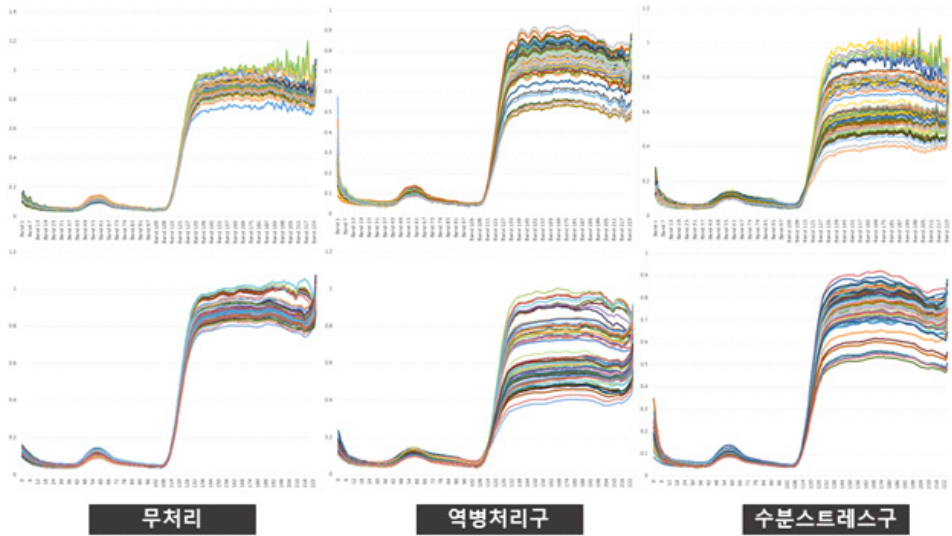


그림 4. 딸기 시험처리구 반사값(촬영기간 : 22.7.6.~22.9.14.)

각 머신러닝 기법 간 가장 우수한 성능을 나타낸 학습데이터 생성 조건은 표 2와 같다. 각 모델에 따른 성능은 카파값(Kappa) 및 F1 Score 등으로 평가하는데 총 4가지의 머신러닝 기법 간 성능 비교 결과 Random Forest, XGBoost, LightGBM 모델은 평활화 작업 이후 성능이 향상되었지만, Decision Tree 모델은 평활화 작업 이후 성능이 저하되는 것으로 판단되었다(표 2). 결론적으로 총 4가지의 머신러닝 모델 중 XGBoost 모델의 카파값(Kappa) 및 F1 Score 성능이 0.733과 0.816으로 가장 우수한 성능을 나타내었다. 따라서 XGBoost 모델이 전반적으로 가장 높은 성능을 보여주었으며 입력 변수가 많은 초분광 영상데이터 분석에 적합하다고 판단되었다. 본 연구에서 모델의 성능이 개선될수록 처리 간의 오 분류는 줄어들고 정상 개체와 관련된 오 분류의 비율이 증가하였다.

표 2. 머신러닝 기법 간 성능 비교

○ 평활화하지 않은 데이터

| 구분         | Decision Tree | Rrandom Forest | XGBoost | LightGBM |
|------------|---------------|----------------|---------|----------|
| 정확도        | 0.809         | 0.778          | 0.794   | 0.714    |
| 카파값(Kappa) | 0.713         | 0.670          | 0.693   | 0.573    |
| 정밀도        | 0.808         | 0.792          | 0.801   | 0.726    |
| 재현율        | 0.818         | 0.802          | 0.818   | 0.718    |
| F1         | 0.807         | 0.779          | 0.795   | 0.715    |

○ 평활화한 데이터

| 구분         | Decision Tree | Rrandom Forest | XGBoost | LightGBM |
|------------|---------------|----------------|---------|----------|
| 정확도        | 0.774         | 0.823          | 0.823   | 0.774    |
| 카파값(Kappa) | 0.662         | 0.731          | 0.733   | 0.663    |
| 정밀도        | 0.781         | 0.829          | 0.819   | 0.788    |
| 재현율        | 0.809         | 0.836          | 0.843   | 0.777    |
| F1         | 0.777         | 0.809          | 0.816   | 0.773    |

4. 결과요약

초분광 영상을 이용하여 딸기의 역병과 수분스트레스를 정상 개체와의 분류가 가능한 판별 최적 모델을 개발하고자 2020년부터 2022년까지 수행하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 가. 초분광 영상촬영을 시작한 7월6일 이후 역병처리구 최초 증상은 7월 19일, 수분스트레스 최초 증상은 7월26일이었음. 아울러 역병처리구의 역병진단키트 결과 모두 양성으로 모든 개체가 역병에 감염되었음을 확인하였음
- 나. 평활화유무와 각 모델에 따른 성능은 카파값(Kappa) 및 F1 Score 등으로 평가하는데 총 4가지의 머신러닝기법 간 성능 비교 결과 Random Forest, XGBoost, LightGBM 모델은 평활화작업 이후 성능이 향상되었지만, Decision Tree모델은 평활화작업 이후 성능이 저하되는 것으로 나타났음
- 다. 총 4가지의 머신러닝 모델 중 XGBoost 모델의 카파값(Kappa) 및 F1 Score 성능이 가장 우수하였음

5. 인용문헌

박민정, 강태경, 윤성욱, 임류갑, 손진관, 강동현, 2021. Analysis and Monitoring of Environmental Parameters in a Single-span Greenhouse during Strawberry Cultivation. 한국환경과학회지, 30(11), p.907-914

김대영, 김상규, 이선이, 최수현, 김태복, 이옥진. 2020. 국내외 딸기 유전자원과 선발계통의 탄저병과 시들음병 저항성 평가. 한국국제농업개발학회지. 32(4): 423~430

남명현, 이병주, 유제혁, 김현숙, 이인하, 이희철. 2022. 딸기 주요 병해충 관리 기술. 충청남도농업기술원 딸기연구소. p. 39-48

Yu-Hui Yeh, Wei-Chang Chung, Jui-Yu Liao, Chia-Lin Chung, Yan-Fu Kuo, Ta-Te Lin. 2016. Strawberry foliar anthracnose assessment by hyperspectral imaging. Computers and Electronics in Agriculture. Volume 122, March 2016, Pages 1-9



## 6. 연구결과 활용

| 연도 (연차)      | 활용구분   | 제 목   |
|--------------|--------|---|
| 2022년도 (3년차) | 영농기술정보 | ○ 초분광영상데이터를 이용한 딸기 역병 및 수분스트레스 판별 최적 모델 선정                |
|              | 학술발표   | ○ 초분광영상 데이터를 이용한 딸기 병증 판별 최적 모델 선정                        |
| 2021년도 (2년차) | 학술발표   | ○ 초분광 영상을 이용한 딸기 역병( <i>Phytophthora cactorum</i> ) 반응 측정 |

## 7. 연구원 편성

| 세부과제                      | 구 분   | 소 속     | 직 급   | 성 명 | 수행업무 | 참여년도 |     |     |
|---------------------------|-------|---------|-------|-----|------|------|-----|-----|
|                           |       |         |       |     |      | '20  | '21 | '22 |
| 1) 영상정보를 이용한 병해충 진단 기술 개발 | 책임자   | 원예연구과   | 농업연구사 | 박은지 | 총괄수행 |      |     | ○   |
|                           | 공동연구자 | 원예연구과   | 농업연구사 | 진효정 | 조사분석 | ○    | ○   |     |
|                           | 공동연구자 | 원예연구과   | 농업연구사 | 윤석한 | 조사분석 | ○    | ○   | ○   |
|                           | 공동연구자 | 원예연구과   | 농업연구관 | 김우일 | 조사분석 | ○    | ○   | ○   |
|                           | 공동연구자 | 원예연구과   | 농업연구사 | 박경미 | 조사분석 | ○    | ○   |     |
|                           | 공동연구자 | 환경농업연구과 | 농업연구사 | 강동완 | 조사분석 | ○    | ○   |     |
|                           | 공동연구자 | 원예연구과   | 농업연구관 | 윤혜숙 | 결과검토 | ○    | ○   | ○   |
|                           | 공동연구자 | 농업기술원   | 농업연구관 | 김영광 | 총괄검토 |      |     | ○   |
|                           | 공동연구자 | 경상국립대학교 | 교 수   | 유찬석 | 평가조정 | ○    | ○   | ○   |