

# 고추 탄저병 정밀 탐색을 위한 영상분석 기술에 대한 연구<sup>+</sup>

## (A Study on the Image Analysis Technique for the Precision Exploration of Chili Anthracnose)

백 정 호<sup>1)</sup>, 김 년 희<sup>2)</sup>, 이 은 경<sup>3)</sup>, 이 흥 석<sup>4)</sup>, 김 송 림<sup>5)</sup>, 박 상 렬<sup>6)</sup>, 지 현 소<sup>7)</sup>, 최 인 찬<sup>8)\*</sup>, 김 경 환<sup>9)\*</sup>  
(JeongHo Baek, Nyunhee Kim, Eungyeong Lee, Hongseok Lee, Song Lim Kim, Sang Ryeol Park,  
Hyeonso Ji, Inchan Choi, and Kyung-Hwan Kim)

**요 약** 전세계적으로 널리 재배되는 고추 (*Capsicum annuum*)는 한국에서 소비가 많은 채소류 중 매우 중요한 작물중 하나이다. 고추는 생육기간 동안에 고추 탄저병에 심한 피해를 입어 방제나 저항성 품종에 대한 연구가 중요하다. 본 연구에서는 탄저병에 저항성이 있는 고추 4품종과 민감성을 가진 1품종에 대해 K1탄저균을 접종하였으며, 시간이 지나면서 나타나는 병 면적을 촬영하여 프로그램을 통해 정량화한 내용을 분석하였다. 고추과일 면적과 병면적의 비율을 통해 감수성 품종인 An-S는 약 40%로 약하게 나타났으며, 저항성 품종인 An-12R (23%), AR-Tan (21%), An-9R (19%)로 비교적 강하게 나타났고, PBC81는 약 11%로 탄저균에 강한 병 반응을 보였다. 이와 같은 정량적인 수치는 탄저병 품종이나 탄저균에 대한 저항성 연구를 수행하는데 비교할 수 있는 기초자료로 활용할 수 있다.

**핵심주제어:** 고추, 탄저병, 영상분석, 정량화, 병징

**Abstract** One of the most important vegetables consumed in Korea, chili peppers (*Capsicum annuum*) are widely cultivated around the world. Chili peppers have been severely damaged by anthracnose during their growth, so it is important to study prevention and resistance varieties. K1 anthracnose was inoculated against four cultivar of chili peppers that are resistant to anthracnose and one cultivar that is sensitive. The area of the disease that appeared over time was photographed and quantified through the program was analyzed. Through the ratio of the area of chili pepper fruit and the area of the bottle, the sensitive variety An-S showed weak reactions to anthracnose with about 40%, the resistant variety An-12R (23%), An-Tan (21%), and An-9R (19%), and PBC81 showed a strong response to anthracnose with about 11%. These quantitative value can be used as a basis for comparison in conducting resistance studies for new varieties.

**Keywords:** Pepper, Anthracnose, Image analysis, Quantization, Symptom of disease

\* Co-corresponding Author: biopiakim@korea.kr, inchchoi@korea.kr

+ 이 논문은 농촌진흥청 차세대 바이오그린21사업 (PJ01323103)의 지원에 의해 이루어진 것임

Manuscript received September 09, 2020 / revised September 28, 2020 / accepted October 05, 2020

1) 국립농업과학원 유전자공학과, 제1저자  
2) 국립농업과학원 유전자공학과, 제2저자

3) 국립농업과학원 유전자공학과, 제3저자  
4) 국립식량과학원 생산기술개발과, 제4저자  
5) 국립농업과학원 유전자공학과, 제5저자  
6) 국립농업과학원 유전체과, 제6저자  
7) 국립농업과학원 유전자공학과, 제7저자  
8) 국립농업과학원 스마트팜개발과, 공동 교신저자  
9) 국립농업과학원 유전자공학과, 공동 교신저자

## 1. 서론

고추는 2018년도 기준 농림축산식품부의 주요통계에 따르면 3만ha에 약 7만2천톤이 생산되며 국민 1인당 연간 소비량이 3.1kg이나 되고 채소류 가운데 우리나라에서 소비가 많은 매우 중요한 작물 중 하나이다 (Lee et. al., 2018). 전세계적으로 가장 널리 재배되고 있는 고추품종 중 *C. annuum*은 생육기간동안에 고추 탄저병과 역병에 가장 심한 피해를 입는 것으로 알려져 있다 (Kim et. al., 2004; Yoon et. al., 2004). 고추 탄저병(*Colletotrichum* spp.)은 고추과일에 발생하여 상품성을 떨어뜨리고 생산량에 직접적으로 영향을 미쳐 농가의 피해를 입히는 주된 병원균중 하나로서 국내에서는 7월에서 발생하기 시작하여 9월을 지나 고추 탄저병이 급격히 증가하기 때문에 이를 위한 방제나 저항성 품종에 대한 연구가 지속적으로 수행되어 왔다 (Kim et. al., 2012; Barka and Lee, 2020). 하지만 실험 재료를 준비하는 과정이나 상이한 실험방법, 탄저병을 판별하는 방법 등 표준화된 방법이 없어 고추 탄저병 연구자들에게 많은 어려움을 주고 있다.

최근 이러한 어려움에 도움이 될 수 있는 표현체 분석 기술을 많이 이용하고 있다. 표현체 분석은 환경 변화에 따라 식물 유전자가 다르게 나타나는 현상에 대해 디지털 영상을 활용하여 식물의 기능, 생리현상, 병해충 등을 분석하는 식물 영상 분석방법 중 하나이다. Kim et al. (2019)이 보고한 연구결과에서는 과종 후 2주 성장한 어린 벼의 식물 영상 분석한 결과가 성숙단계에서 실험한 결과인 수확량과 관련하여 식물의 기능적인 특성에 연관이 있음을 확인하였다. 이는 어린 벼를 카메라로 촬영하여 식물 크기, 잎 크기를 분석한 내용이 식물의 특성 (형질)을 양적으로 분석하는 유전자 분석법 (Quantitative trait locus: QTL)을 이용한 방법과 일치함을 보여준 결과이다. 따라서, 식물 영상분석방법인 표현체를 이용한 선발로 긴 육종시간을 단축 할 수 있다고 하였다.

또한 종자의 고속 대량 분석을 위해 영상으로 다양한 정보를 확인 할 수 있는 연구도 보고되었다. 기존에는 사람이 버니어캘리퍼스 같은 길이를 측정하는 장치로 수작업으로 진행하였지만 대량의 종자를 촬영 후 색상값을 이용한 영상처리방법을 통해 개별적인 종자 크기에 대한 정보를 확인 할 수 있게 되었을 뿐만 아니라 사람이 측정하기 힘든 둥근정도, 면적같은

정보도 추가로 측정이 가능해졌다. 이처럼 사람이 노동력으로 하기 힘든 대량의 종자 분석 일들을 IT 기술을 활용하여 빠르게 정량적인 데이터를 산출하여 종자의 특징을 확인 할 수 있었다 (BAEK et al., 2020).

바이러스, 곰팡이 및 박테리아로 인해 식물 질병이 발생하여 품질 및 수량에 영향을 미치자 생산성 향상을 위해 영상 정보를 이용하여 관리하는 연구도 보고되었다. 이는 다양한 식물의 질병을 탐지하기 위해 선형회귀, SVM (Support vector machine), ANN (Artificial neural network)등 머신러닝이나 딥러닝 같은 영상 처리 방법으로 자료의 분할, 추출 및 분류하는 것이 사람의 눈으로 관찰하는 것보다 더 정확하게 감지하는데 도움이 된다고 하였다 (Khirade and Patil, 2015; Lee et al., 2018; Jo et al., 2019).

이처럼 식물 영상 분석기술은 영상으로 촬영된 실험재료의 재사용, 시간 스케줄에 따른 지속적인 관찰, 정량적 수치를 통해 일관된 판별을 하는데 도움이 되며 이를 통해 연구를 수행하는 것이 시간과 노력을 줄일 수 있고 정확성과 정밀성의 확보도 할 수 있어 사람의 노동력에 의존하는 식물연구하는 연구자들에게 많은 도움을 줄 수 있다.

이 연구는 농촌진흥청 국립농업과학원에서 식물 영상 분석기술을 이용하여 고추 유전자원의 탄저병 특징을 살펴보고 정량화된 디지털 자료와 함께 고추 탄저병 정밀 탐색을 위한 정보를 제공하고자 수행하였다. 본 논문에서는 영상을 이용하여 고추에서 탄저균이 발견되는 양상을 정량적인 수치데이터로 분석하고 이를 병원균에 대한 저항성 판별 및 품종 육성 등 농업적으로 이용하기 위해 영상분석 기술을 활용하는 방법에 대해 보고하여 디지털 농업연구의 활용성을 증진시키고자 한다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 고추 유전자원재료

고추 유전자원의 탄저균 병징을 관찰하기 위해 기존 저항성 연구가 많이 진행된 PBC81, An-9R 품종과 감수성이며 모계인 An-S 품종, 저항성이면서 부계인 An-12R 품종, 그리고 이 품종을 교배 육성한

AR-Tan 등 5 품종에 대해 K1 탄저균을 접종하였다. 본 실험에서 Fig. 1과 같이 각 20립의 종자는 1.5ml 튜브에 70% 에탄올 1ml 주입 후 5분간 1차 세척, 30% 락스 1ml로 10분간 2차 살균, 3차 멸균수 1ml 주입하여 3회 반복 세척하였다. 살균 및 세척 후 필터페이퍼를 깐 페트리디시에 치상후 28℃ 배양실에서 4일간 종자를 발아시켰다. 발아한 종자는 원예용 상토가 담긴 포트에 과종하여 온도와 습도를 조절 할 수 있는 스마트 온실에서 3회(1월, 4월, 8월) 생육하여 실험에 사용하였다.

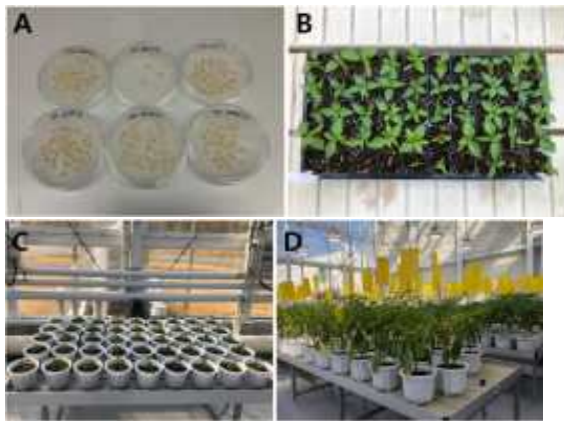


Fig. 1 Preparation of Pepper Genetic Resource.  
A. Seed Disinfection, B. Transplant on Trays, C. Potted Plant, D. Cultivation in Greenhouse

## 2.2 탄저균 배양 및 접종

탄저균은 육종업체 (고추와육종)에서 수집한 K1 균을 분양받아 실험에 이용하였다. 분양받은 탄저균은 병의 활성도를 높이기 위해 22℃ 인큐베이터에서 8일간 배양하고 새로운 배지에 분리 배양하여 실험에 이용하였으며, 배양된 탄저균은 녹색의 고추과일을 수확 후 고추 면에 균일한 간격으로 3부위에 0.6mm 직경의 주사바늘로 1.2mm 깊이로 상처를 내고 부위당 10 $\mu$ l씩 접종하였다.

## 2.3 영상 측정 시기 결정

고추는 생육기간동안에 순차적으로 꽃이 피고 지속적으로 과일이 맺히게 된다. 이러한 고추과일은

익으면 녹색에서 붉은색으로 색상이 변하게 되는데, 꽃이 피는 시기에 따라 고추과일의 숙성정도가 달라지기도 한다. 이러한 환경에 따른 색상의 변화는 색상값을 이용한 영상분석에서 고추과일과 배경을 제거하고 병징 데이터를 추출하는데 어려움을 주는 요소 중 하나이다. 본 논문에서는 고추과일의 색상 변화의 오차 없이 K1 탄저균의 병징이 진행되는 과정을 촬영하기 위해 개화 후 20일이 지난 고추과일만을 수확하였다. 이는 수확 후 크기와 노화 정도에 따라 점차적으로 빨간색으로 익어가는 고추과일의 특성상 개화시기를 맞춤으로 각 고추 품종에 대한 크기와 노화 정도를 일치시키기 위함이다. 그리고, Fig. 2(A)와 같이 지속적인 수분을 공급 할 수 있는 별도의 장치를 고안하여, 일정한 환경조건에서 영상정보를 획득하기 위하여 온도 25℃와 습도 50%, 광 밝기 2,200 Lux로 설정한 생장 챔버에서 4일간 3시간 간격으로 영상을 측정하였다. 이는 집중된 탄저병이 4일 후에 병반 크기가 고추과일의 폭을 넘어서기 때문에 영상으로 분석하는데 어려움이 있기 때문이다.

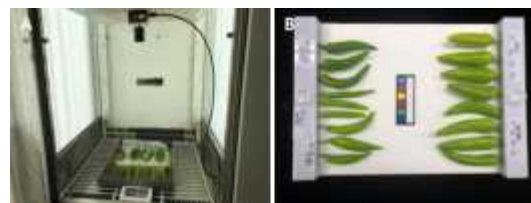


Fig. 2 Camera Device for Image Acquisition.  
A. Camera Device, B. Adapter for Hydration

## 2.4 영상 측정 장치 및 분석

탄저균이 접종된 고추과일의 시계열적인 촬영을 위해 Fig. 2(A)와 같이 CCD 카메라 (KCS3-63S)를 이용하여 장치를 제작하였고 Fig. 2(B)와 같이 영상결과를 얻었다. 촬영된 영상은 분석을 위해 Fig. 3과 같이 ImageJ (Schneider et al., 2012)의 Lab 색상을 이용하여 객체분할, 영역설정, 노이즈제거, 영상처리, 결과값 출력 등으로 처리하였으며(Song et al., 2020), 영상에서 디지털화한 결과는 고추과일의 면적, 단폭, 장폭, 비율 등 4개 지표, 탄저균 병반에

대한 면적, 단폭, 장폭, 둘레, 비율, 견고성 등 6개 지표에 대해 정략적인 수치로 표시하여 추출하였다.

고추 탄저병 영상의 처리 및 분석을 위해 Fig. 4와 같이 4단계 과정을 거쳤다.

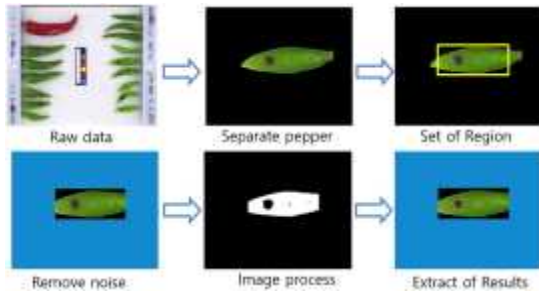


Fig. 3 Image Analysis Flow Chart for Extracting the Quantification Value of Colletotrichum Spp.

. Step 1: Data creation

고추 생육 영상과 탄저병 영상 그리고 제작된 장치에서 촬영된 영상을 생산하는 단계.

. Step 2: Data processing

획득된 영상을 분석하기 위해 자르고 처리 영역 설정하고 스케일 기준을 설정하는 전처리 단계와 노이즈제거와 채널분리, 이진화 그리고 처리된 영상기반으로 데이터를 추출하는 처리 단계.

. Step 3: Data analysis

처리되어 추출된 데이터 값을 기반으로 병 면적을 비교 분석하고, 시간의 흐름에 따라 변화하는 양상을 비교하는 분석단계.

. Step 4: Options

데이터 생산, 처리, 분석 과정을 거치면서 생산되는 데이터를 재분석 및 데이터 정확도 검증 작업을 수행 할 수 있게 영역정보를 저장하는 단계이다.

### 3. 결 과

#### 3.1 영상측정의 신뢰성

본 논문에서는 영상 촬영된 결과들이 실제 측정값과 일치하는지에 대한 신뢰성을 알아보기 위해

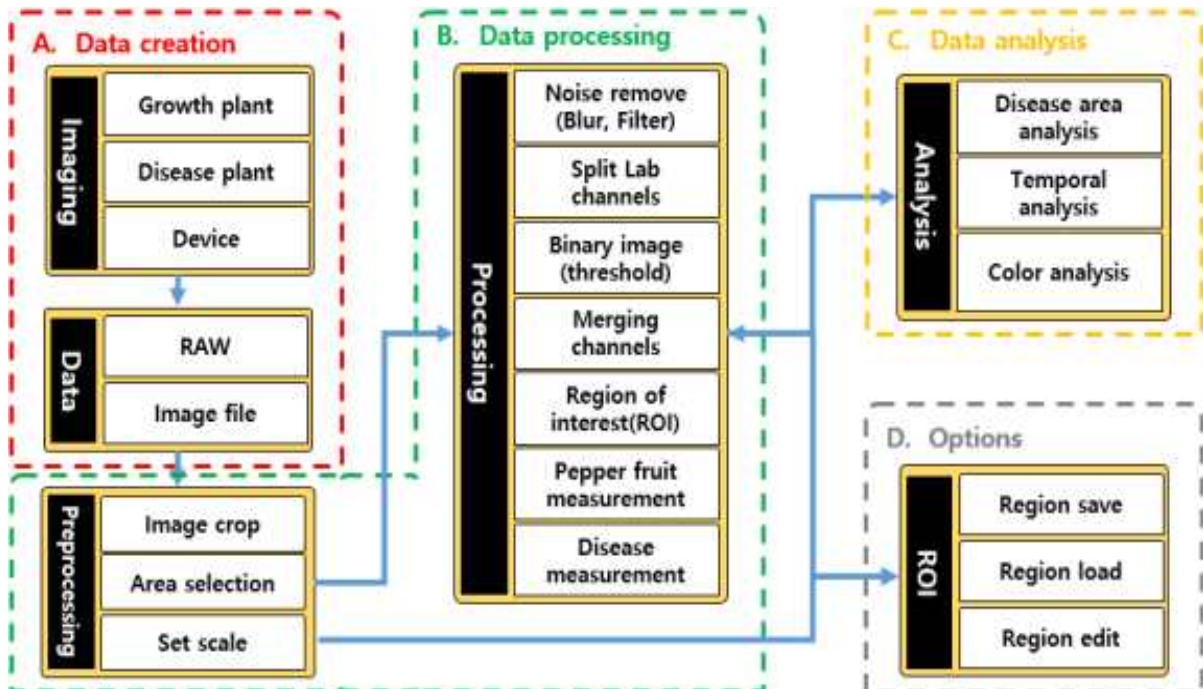


Fig. 4 Data Process Flow Chart for Image Analysis

고추과일을 무작위로 30개체를 채취하여 단폭 (Width)과 장폭 (Height)을 실측하고 영상 촬영 결과들과 비교하였다. 또한 영상 촬영 값이 다른 부위에서도 동일한 신뢰성을 가지는지 확인하기 위해 고추과일이 아닌 고추잎 부분도 촬영하여 Fig. 5와 같이 실측값에 의해 영상측정값의 평가 할 수 있는 선형회귀분석의 상관관계값 ( $R^2$ )을 확인하였다. Table 1과 같이 고추과일의 장폭에 대해 실측과 영상측정은 표준편차 0.37,  $R^2 = 0.9986$ 로 나타났고, 단폭에 대해서는 표준편차 0.6,  $R^2 = 0.9695$ 로 나타나 아주 높은 상관관계가 있음을 확인하였다.

Table 1 Correlation between Actual Measurement and Image Measurement of Chili Pepper Fruit and Leaf

Actual \ Image	fruit		Leaf	
	Height	Width	Height	Width
Height	0.9986	-	0.9984	-
Width	-	0.9695	-	0.9948
Stdev	0.37	0.60	1.41	2.24

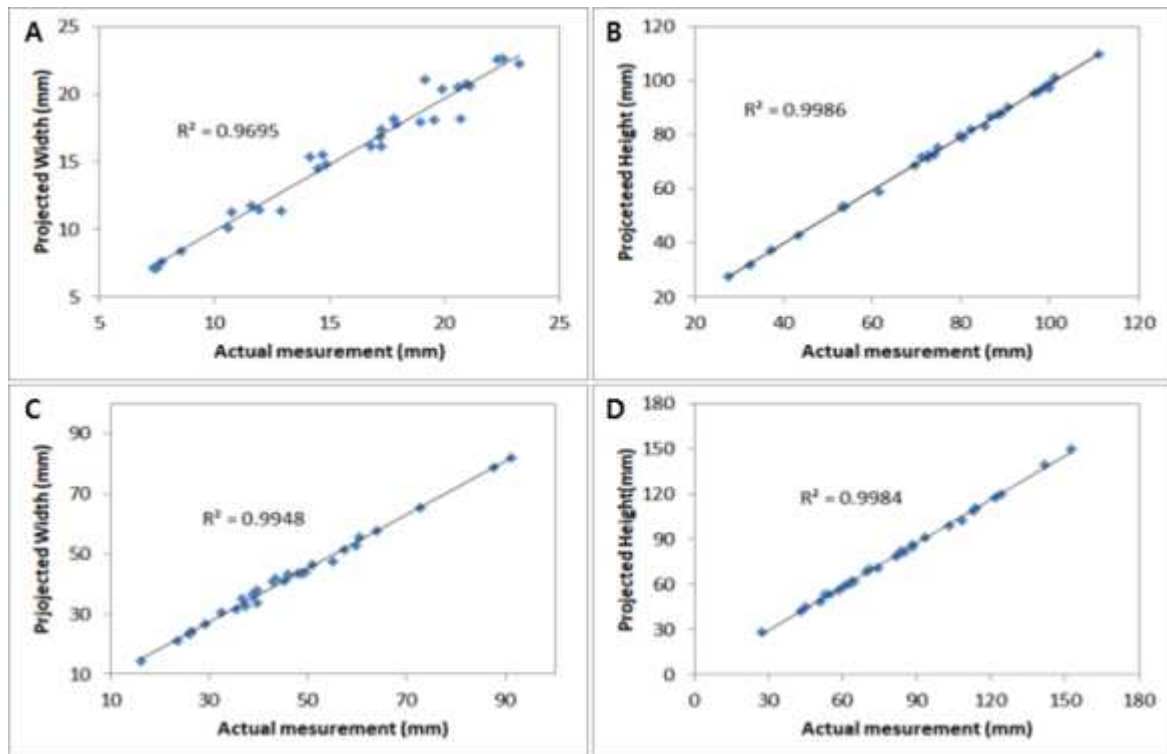


Fig. 5 Correlation Graph between Actual Measurement and Image Measurement of Pepper Fruit and Leaf. A. Width of Fruit, B. Height of Fruit. C. Width of Leaf. D. Height of Leaf

그리고 이러한 상관관계값이 고추과일뿐만 아니라 다른 부위에서도 비슷한 신뢰성을 갖는지 확인한 결과 고추 잎의 장폭에 대해 실측과 영상측정은 표준편차 1.41,  $R^2 = 0.9984$ 로 나타났고, 단폭에 대해서는 표준편차 2.24,  $R^2 = 0.9948$ 로 역시 높은 상관관계가 있음을 확인하였다.

실험에서 과일과 잎의 표준편차의 차이가 나타난 이유는 고추과일보다 잎의 크기가 5배 이상으로 값의 크기에 의한 차이로 확인됐다. 결과적으로 고추과일은 표준편차 0.6mm 이하,  $R^2 = 0.96$  이상이며 고추잎은 2.24mm 이하,  $R^2 = 0.99$  이상으로 나타남으로 영상의 결과들은 실측과 비교하여 신뢰할 만한 값으로 추출됨을 알 수 있었다.

### 3.2 고추 탄저균 영상분석

영상분석 툴인 ImageJ를 이용하여 촬영된 고추과일과 탄저균 병반의 정량 데이터를 획득하였다. 5품종의 고추과일의 디지털화된 정량화 값은 K1 탄저균 병반의 정량화값에 따라 다른 패턴을 보여줌으로 고추 탄저병 평가하는데 도움을 줄 수 있는 자료로 활용 할 수 있었다. 따라서 고추과일의 면적과 장폭, 단폭의 정량화값 비율을 통해 Fig. 6과 같이 장폭을 면적값으로 나눈 비율값을 면적비율 (Area ratio)로 정하였다. 이는 탄저균이 확산되는 정도를 고추과일의 동일면적에서 비교하기 위함이다. 이를 이용하여 Fig. 6(B)의 녹색 히스토그램과 같이 면적비율 값이 큰 An-12와 중간정도인 An-9R, AR-Tan 그리고 값이 작은 PBC81로 분류 할 수 있었다. 고추 탄저균 병반의 정량화 값을 이용하여 병반 면적은 Fig. 7(A)에서 An-S와 AR-Tan이 면적의 크기가 큰 a그룹, An-9R과 An-12R이 중간인 b그룹 그리고 면적의 크기가 거의 없는 PBC81이 c그룹으로 형성되었다.

Fig. 7(B)에서 고추과일면적에 따른 병의 면적 비율을 보면 An-S가 비율의 크기가 큰 e그룹, AR-Tan, An-9R, An-12R이 중간인 f그룹 그리고 PBC81이 g그룹으로 형성되었다. 이는 Fig. 7(A)과 비교하여 고추의 크기에 따라 병반의 절대적인 면적과 병반의 비율이 그룹을 형성하는 차이가 있음을 확인 할 수 있었다.

Fig. 7(C)의 h, I 그룹과 7(D)의 j, k, l 그룹에서 병이 확장하는 모양을 확인할 수 있었다. 특히 AR-Tan 품종은 병의 장폭관련하여 Fig. 7(C)의 I그룹에 속해 An-S를 제외한 다른 4품종과 같은 양상을 보였지만 특이하게 단폭관련해서는 Fig. 7(D)의 j그룹처럼 단독으로 확장하는 모습을 보였다. 이는 명확한 분류를 보임으로 탄저병 저항성 유전자를 포함하고 있는 고추품종의 특성을 판단하는 기초자료로 사용이 가능할 것이라 판단된다. Fig. 7(E)의 비율 (Roundness)과 Fig. 7(F)의 견고성 (Solidity)을 통해 탄저균 병반이 확장해 나가는 형태적인 변화를 확인 할 수 있었다.

비율 (Roundness)은 단폭 (Width)을 장폭 Height)으로 나눈 값, 견고성 (Solidity)은 면적 (Area)을 최외각 면적 (Convex hull)으로 나눈 값을 나타낸다. Fig. 7(E) 비율 데이터를 분석한 결과 An-S, An-9R, PBC81 품종이 가로축과 세로축의 비율이 균일하게 변화되었으며, Fig. 7(E) m그룹처럼 AR-Tan과 An-12R의 값이

급격하게 변화하는 것으로 확인되어 균일-불균일-균일하게 변하는 것으로 확인되었다. Fig. 7(F)의 견고성을 분석을 통해 An-S, An-9R, PBC81 품종은 병반의 가장자리가 매끈한 형태로 변하고 Fig. 7(F) n그룹처럼 AR-Tan과 An-12R은 병반의 가장자리가 울퉁불퉁하여 매끄럽지 못한 것으로 확인이 됐다. 이러한 Fig. 8과 같이 고추과일에서 병반이 확산하는 정량값과, 방향성의 정보들은 고추와 탄저균 사이의 식물생리학적인 매커니즘을 이해하는데 기초자료로 활용 할 수 있으며 이를 이용하면 저항성 품종을 육성하는데 도움이 될 것이다.

### 4. 결론

식물 영상 분석기술은 식물의 생리현상, 형질 특성 정보뿐만 아니라 병원균과 관련하여 식물의 생장과 발달 전반에 영향을 미치는 현상들을 데이터로 정량화 할 수 있는 기술로서 저항성 연구에 도움을 줄 수 있는 중요한 역할을 한다. 실험에 사용된 K1 탄저균으로부터 감염된 5품종 고추과일의 디지털화된 병반 형태정보를 영상촬영, 처리, 분석을 통해 확인 할 수 있었다. 접종 후 3일간 진행된 고추 탄저병 영상분석 결과로 Fig. 7(B)의 고추과일 면적대비 병반의 크기는 An-S (14.3%), An-9R (6.12%), AR-Tan (5.61%), An-12R (5.33%), PBC81 (1.14%) 순으로 나타났다. 또한 단폭, 장폭, 비율과 견고성 등 다양한 영상 지표를 확인하여 고추에서 탄저병이 발병하여 진행되는 과정을 살펴보는 등 병저항성에 대한 동정도 가능 할 것이라 판단된다.

따라서 본 연구결과로 식물 영상 분석법을 이용한 정량적인 데이터는 고추에서 탄저병에 대해 저항성 정도를 판별하는데 도움을 줄 수 있고, 향후 유전체 정보와 연관하여 저항성 유전자를 탐색하는 표현형 정보로 활용 할 수 있어 새로운 품종을 육성하기 위한 하나의 기술로서 활용 될 수 있을 것으로 사료된다.



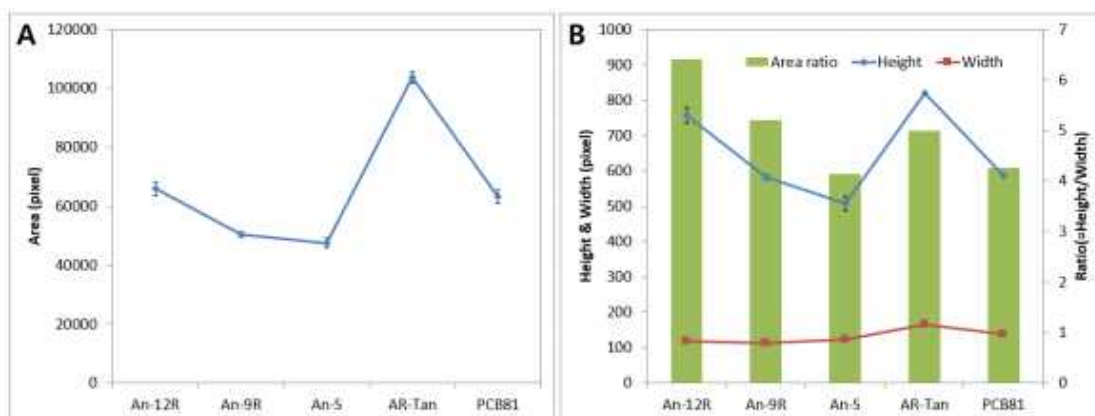


Fig. 6 Area Graph of Pepper Fruit (A) and Ratio Graph of Width and Height (B)

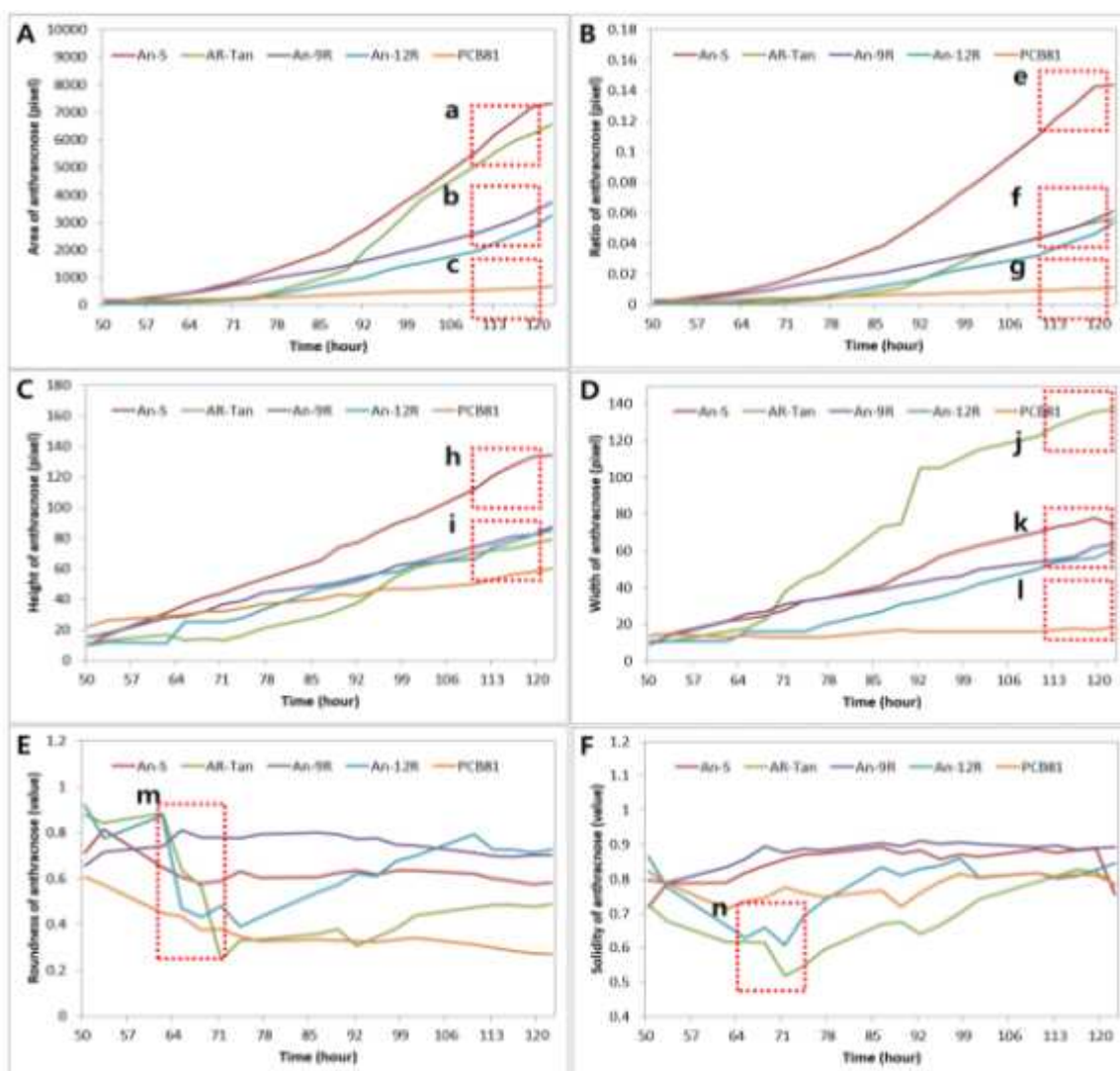


Fig. 7 Analysis Graph of Anthracnose in Chili Pepper Fruit.

A. Area, B. Ratio, C. Height, D. Width, E. Roundness, F. Solidity

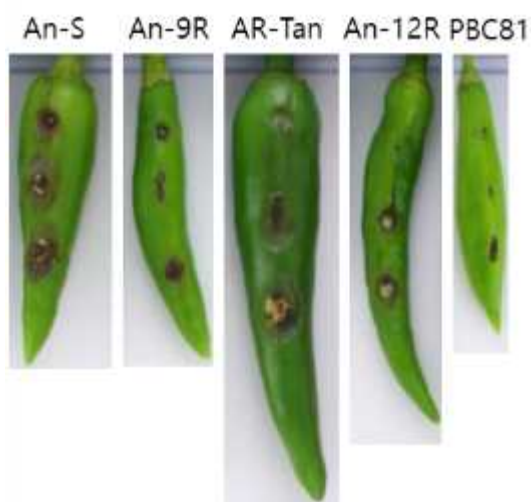


Fig. 8 Appearance of Anthracnose on Chili Pepper Fruit

## References

- BAEK, J., Lee, E., Kim, N., Kim, S. L., Choi, I., Ji, H., Chung, Y. S., Choi, M.-S., Moon, J.-K., and Kim, K.-H. (2020). High throughput Phenotyping for Various Traits on Soybean Seeds using Image Analysis, *Sensors*, 20(1), 248.
- Barka, G. D., and Lee, J. (2020). Molecular Marker Development and Gene Cloning for Diverse Disease Resistance in Pepper (*Capsicum annuum* L.): Current Status and Prospects, *Plant Breed. Biotech.*, 8(2), 89–113.
- Jo, J. W., Lee, M. H., Lee, H. R., Chung, Y. S., Baek J. H., Kim, K. H., and Lee, C. W. (2019). LeafNet: Plants Segmentation using CNN, *Journal of the Korea Industrial Information Systems Research*, 24(4), 1–8.
- Khirade, S. D., and Patil, A. B. (2015). Plant Disease Detection using Image Processing, *International Conference on Computing Communication Control and Automation*, Pune, 768–771.
- Kim, K.-H., Yoon, J.-B., Park, H.-G., Park, E. W., and Kim, Y. H. (2004). Structural Modifications and Programmed Cell Death of Chili Pepper Fruit related to Resistance Responses to *Colletotrichum Gloeosporioides* Infection, *Phytopathology* 94, 1295–1304.
- Kim, S. G., R, N.-Y., Hur, O.-S., Ko, H.-C., Gwag, J.-G., and Huh, Y.-C. (2012). Evaluation of Resistance to *Colletotrichum Acutatum* in Pepper Genetic Resources, *Res. Plant Dis.*, 18(2), 93–100.
- Kim, S. L., Chung, Y., Silva, R. R., Ji, H., Lee, H., Choi, I., Kim N., Lee, E., Baek, J., Lee, G.-S., Kwon, T.-R., and Kim, K.-H. (2019). The Opening of Phenome-assisted Selection Era in the Early Seedling Stage, *Scientific Reports*, 9, 9948.
- Lee, W.-M., Yang, E. Y., Cho, M. C., Chae, S. Y., Choi, H. S., and Moon, J.-H. (2018). Breeding of Korean Red Pepper Variety ‘Jeockyoung’ with High Carotenoid Content, *Korean J. Breed. Sci.*, 50(3), 302–306.
- Lee, J. H., Kim, B. M., and Shin, Y. S. (2018). Effects of Preprocessing and Feature Extraction on CNN-based Fire Detection Performance, *Journal of the Korea Industrial Information Systems Research*, 23(4), 41–53.
- Schneider, C. A., Rasband, W. S., and Eliceiri, K. W. (2012). NIH Image to ImageJ: 25 Years of Image Analysis, *Nat Methods*, 9(7), 671–5.
- Song, S., Kim, S., Jin, Y. S., and Lee, J. (2020). Enhancement Techniques of Color Segmentation for Detecting Missing Persons in Smart Lighting System using Radar and Camera Sensors, *Journal of the Korea Industrial Information Systems Research*, 25(3), 53–59.
- Yoon, J. B., Do, J. W., Yang, D. C., and Park, H. G. (2004). Interspecific Cross Compatibility among Five Domesticated Species of *Capsicum* Genus, *J. Korean Soc. Hort. Sci.*, 45, 324–329.





**백 정 호 (JeongHo Baek)**

- 정회원
- 군산대학교 컴퓨터정보과학과 공학사
- 군산대학교 컴퓨터정보공학과 공학석사

- 군산대학교 컴퓨터정보공학과 공학박사
- (현재) 농촌진흥청 국립농업과학원 농업연수사
- 관심분야 : 표현체, 유전자기능, 빅데이터



**박 상 렬 (Sang Ryeol Park)**

- 경상대학교 농화학과 농학사
- 경상대학교 농화학과 농학석사
- 경상대학교 농화학과 농학박사
- (현재) 농촌진흥청 국립농업과학원 농업연수사

- 관심분야 : 식물-미생물 상호작용, 병저항성, 유전자기능



**김 년 희 (Nyunhee Kim)**

- 대전대학교 미생물생명공학과 이학사
- 충남대학교 신약개발학과 이학석사
- (현재) 농촌진흥청 국립농업과학원 연구원

- 관심분야 : 표현체, 유전자기능, 빅데이터



**지 현 소 (Hyeonso Ji)**

- 서울대학교 농학과 농학사
- 서울대학교 농학과 농학석사
- 서울대학교 농학과 농학박사
- (현재) 농촌진흥청 국립농업과학원 농업연수사

- 관심분야 : 유전지도, 유전자, 식물병저항성



**이 은 경 (Eungyeong Lee)**

- 가톨릭대학교 생명공학과 공학사
- 전북대학교 농학과 농학석사
- 전북대학교 농학과 농학박사과정
- (현재) 농촌진흥청 국립농업과학원 연구원

- 관심분야 : 표현체, 유전자기능, 빅데이터



**최 인 찬 (Inchan Choi)**

- 전남대 물리·전기공학과 이학·공학사
- 중앙대학교 전자전기공학부 공학석사
- 중앙대학교 전자전기공학부 공학박사
- (현재) 농촌진흥청 국립농업과학원 농업연구관

- 관심분야 : 정밀농업, 생육모델링, 인공지능



**이 흥 석 (Hongseok Lee)**

- 충남대학교 바이오시스템기계공학과 공학사
- 충남대학교 농기계학과 공학석사
- (현재) 농촌진흥청 국립식량과학원 농업연수사

- 관심분야 : 노지표현체, 초분광영상, 비파괴검정



**김 경 환 (Kyung-Hwan Kim)**

- 경북대학교 미생물학과 이학사
- 경북대학교 미생물학과 이학석사
- 경북대학교 미생물학과 이학박사
- (현재) 농촌진흥청 국립농업과학원 농업연구관

- 관심분야 : 표현체, 유전자기능, 지방산생합성



**김 송 림 (Song Lim Kim)**

- 정회원
- 한림대학교 생물학과 이학사
- 한림대학교 생물학과 이학석사
- 포항공대 생명과학과 이학박사
- (현재) 농촌진흥청 국립농업과학원 농업연수사

- 관심분야 : 표현체, 기능유전체, 작물생리