



과제구분	어젠다	수행시기		전반기	
연구과제 및 세부과제		연구분야	수행기간	연구실	책임자
현장애로 식물 임상진단 및 병해발생 실태조사		작물보호	'17~	농업기술원 환경농업연구과	이현주
파, 오이 주요 병해 딥러닝 영상정보 구축		작물보호	'21~'24	〃	유주형
색인용어	병해충, 진단, 방제, 영상정보, 딥러닝				

ABSTRACT

This study aims to develop a system for the rapid diagnosis of major diseases in leek and cucumber using artificial intelligence-based deep learning technology. To achieve this, we captured images of major disease symptoms in leek and cucumber and uploaded them to the CMS(Crop Pest Management System) after performing labeling and annotation. The collected image data underwent validation and modification processes to create a standardized dataset for deep learning training. The major diseases occurring in leek include rust, downy mildew, and leaf blight, while cucumber is affected by scab, downy mildew, stem rot, powdery mildew, gray mold, and gummy stem blight. Deep learning training image data for each of these diseases was gathered, and based on this, a smart pest and disease diagnostic app was developed and field trials were conducted. The trials demonstrated that the developed app exhibited high accuracy and reproducibility, enabling fast and accurate disease diagnosis on farms, and is expected to make a significant contribution to pest and disease management.

Key words : Artificial Intelligence, Deep Learning, Disease Diagnosis, Pest Management

1. 연구목표

FAO는 전 세계 농산물 생산량의 최대 40%가 매년 병해충으로 인해 손실되고 있으며, 기후변화가 이러한 피해를 더욱 악화시킬 수 있다고 보고하였다(Kapetas et al., 2023). 최근 기후변화에 따른 온도 상승과 강수량 변동 및 국제 무역 증가로 외래 병해충의 국내 유입 빈도가 지속적으로 증가하고 있다. 실제로 한국에서는 1900년 이후 병 40종, 해충 47종으로 총 87종의 외래 병해충이 보고되었다(Hwang et al., 2016).

농업 현장에서는 병해충 발생 양상의 급격한 변화로 인해 정밀 예찰 및 신속 진단의 필요성이 증가하고 있다. 그러나 식물 병해충 진단에는 많은 시간과 노력이 소요되며, 일부 병해충의 경우 신속하고 정확한 진단이 어려워 방제 시기가 지연되는 문제를 초래하고 있다. 따라서 현장에서도 전문가 개입 없이 신속하고 정확한 진단이 가능한 새로운 기술 개발이 시급한 상황이다.

최근 인공지능(AD) 기술이 이러한 문제점을 해결할 수 있는 방안으로 주목받고 있다. 기존의 병해충 현장 모니터링 방법은 주로 전문가의 육안 관찰에 의존하여 비효율적이고 주관적인 한계가 있었다. 이에 반해 컴퓨터 비전과 딥러닝 기술을 이용한 자동화된 진단 시스템은 전문가에 필적하는 우수한 정확도를 제공함으로써 병해충 피해를 최소화하는데 핵심적인 역할을 할 수 있을 것으로 기대된다.(Wang et al., 2023).

본 연구는 딥러닝 기술을 이용한 인공지능 기반의 병해충영상관리 프로그램(CMS)를 구축하는 것을 목표로 수행되었다. 우리원에서는 파와 오이의 주요 병해 증상을 촬영하여 CMS에 이미지를 대량 등록한 후, 레이블링과 어노테이션 그리고 교차검정을 통해 딥러닝 학습용 데이터셋과 NCPMS 병해충 진단자료의 품질 향상을 위한 병해별 표준 영상 이미지를 제공하고자 하였다. 또한 딥러닝 데이터셋의 품질과 정확도를 검증하기 위해 스마트 병해충 진단 앱으로 파와 오이의 주요 병해에 대한 진단실증을 진행하여 현장 적용 가능성을 확인하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

가. 파, 오이에 발생하는 주요 병해의 딥러닝 학습용 및 표준 영상정보 확보

병해 발생 실태조사 및 영상데이터 수집은 2021년부터 2024년까지 진행되었고, 안성, 평택, 화성 등의 파, 오이 재배농가에서 실시되었다. 현장에서 루페나 육안진단을 통해 병징 및 표징을 확인하였고 파와 오이에 대한 대상 병해가 확인된 경우 스마트폰(Galaxy S21, S23)을 이용하여 병 진단단계별, 발병부위별 딥러닝 영상정보를 확보하였다. 영상 확보 후에 시료를 채집하여 촬영된 병징이 해당 병을 일으키는 병원균에 의한 것인지 DNA Prep Kit(Inclone™ Genomic Plus DNA Prep Kit)를 이용하여 유전분석을 통한 동정을 진행하였다. 수집된 영상데이터는 이미지 대량 등록 기능을 통해 CMS 플랫폼에 업로드하였다. 딥러닝 영상데이터 확보를 위해 1, 2차 이미지 검수와 라벨링 및 annotation 과정을 진행하였고, 타 기관(강원도농업기술원)과의 3차 검수를 진행하였다.



딤러닝 학습용 데이터는 파에서 노균병, 녹병, 잎마름병 3종에 대하여 2,117건, 오이에서 검은별무늬병, 노균병, 잘록병, 잿빛곰팡이병, 흰가루병 5종에 대하여 9,642건을 확보하였다. 표준영상의 경우 병 발생 포장 피해 사진, 수집한 시료를 이용한 현미경 사진과 병징 확대사진 등을 수집하였으며, 이를 활용하여 NCPMS 고도화를 위한 데이터셋을 작성하여 제공하였다. 파에서는 노균병, 녹병, 잎마름병 3종에 대하여 154건, 오이에서는 검은별무늬병, 노균병, 잘록병, 잿빛곰팡이병, 흰가루병, 덩굴마름병 6종에 대하여 323건의 영상을 확보하였다(표 1).

표 1. 작목별 영상정보 확보 현황

기 주	용 도	확보대상	영상개수(건)
파	딤러닝	노균병	250
		녹병	1,468
		잎마름병	399
	표준영상	노균병	50
		녹병	53
		잎마름병	51
소 계			2,271
오이	딤러닝	검은별무늬병	4,282
		노균병	1,518
		잘록병	711
		잿빛곰팡이병	1,466
		흰가루병	1,665
	표준영상	검은별무늬병	50
		노균병	50
		잘록병	53
		잿빛곰팡이병	69
		흰가루병	50
		덩굴마름병	51
소 계			9,965
총 계			12,236

나. 주요 병해 영상진단 기술 현장 적용성 실증

AI 기반 병해충 영상진단 애플리케이션의 현장 적용 가능성을 평가하기 위해 파와 오이를 대상으로 농가 현장에서 발생한 병해를 진단하는 현장 실증을 수행하였다. 실증은 2024년 5월(1차)과 10월(2차)에 걸쳐 두 차례 진행되었으며, 농가에서 직접 스마트폰을 사용하여 병해 증상을 촬영하였다. 촬영된 영상데이터는 딥러닝 알고리즘을 적용한 진단 애플리케이션으로 분석하였고, 이 과정에서 병해충 진단 정확도 및 현장 적용상의 개선 사항을 평가하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 파, 오이에 발생하는 주요 병해의 딥러닝 학습용 영상정보 확보

파에서 대상병해인 녹병에 추가적으로 노균병, 잎마름병의 병해 영상정보를 확보했다. 파 녹병(*Puccinia allii*)은 전세계적으로 문제가 되고 있으며 심각한 생산량 감소를 유발하였다. 특히 아시아권에서는 주요 병해로 관심받고 있다(Gilles et al., 2003). 녹병은 2018년 대구광역시 달성군의 양파 농가에서 처음 보고된 이후 점차 전국으로 확산되고 있다(Kwon et al., 2021). 녹병은 병징이 비교적 뚜렷하고 다른 병들과 차이점이 있어 농가에서도 비교적 빠른 시기에 병징을 확인하고 약제를 살포하는 경향을 보였다. 녹병의 병징은 초기에 노란색의 작은 반점이 나타나고 진전되면 주황색으로 변한다. 진전되면 감염부위가 융기되고 균열이 일어나 주황색의 분말(여름포자)이 분출되고, 수확기에는 병반이 회색내지 흑갈색으로 변하기도 한다(그림 1). 노균병(*Peronospora destructor*)은 주로 잎에서 발생하며 간혹 꽃대에서도 발생한다. 처음에는 타원형의 황백색 병무늬가 생기고 표면에 흰색 곰팡이도 관찰된다(그림 2). 노균병의 경우 발생해도 초기에는 눈에 잘 띄지 않아 방제가 적절하게 이루어지지 않는 경향을 보였다. 실제로 국내 파, 양파 재배지에서 지속적으로 발생하고 있으며, 초기 발견이 어려워 큰 피해로 이어지기도 한다(Lee et al., 2024). 잎마름병(*Stemphylium vesicarium*)의 경우 여름철 고온기에 발생하기 시작했으며 대부분의 포장에서 확인되었다. 병징은 잎의 회갈색 또는 암갈색의 작은 반점이 형성되어 타원형 또는 부정형의 모양을 띠며, 심할 경우 잎이 말라 죽는다(그림 3). 증상이 유사한 검은무늬병과의 비교를 위해 사진을 촬영한 뒤 동정을 진행하였다.



<초기>

<중기>

<후기>

그림 1. 파 녹병의 진전 단계별 병징



<초기>

<중기>

<후기>

그림 2. 파 노균병의 진전 단계별 병징



<초기>

<중기>

<후기>

그림 3. 파 잎마름병의 진전 단계별 병징

오이에서 발생하는 주요 병해 중 검은별무늬병(*Cladosporium cucumerinum*)은 서늘하고 습한 조건에서 자주 발생한다. 검은별무늬병이 발생하는 포장의 경우 특징적으로 환기가 불량한 경우가 많았다. 병징은 주로 어린 과실이나 연한 잎, 성장점에 발생하였고, 과실에는 처음 수침상의 작은 반점이 나타나고 진전되면 병반이 함몰되며 갈색의 더듬이 증상으로 변한다. 잎이나 줄기에는 작은 반점으로 나타나고 진전되면 병반이 찢어져 구멍이 생긴다(그림 4). 노균병(*Pseudoperonospora cubensis*)의 경우는 습도를 높게 유지하는 대부분의 시설재배 농가에서 확인할 수 있었다. 노균병의 병징은 잎 앞면에는 담

황색의 각진 반점이 나타나고, 뒷면에는 회색이나 암회색의 곰팡이가 형성되어 다른 병과 뚜렷하게 구분되었다(그림 5). 흰가루병(*Golovinomyces cichoracearum*) 또한 흔하게 확인되었고, 잎에 흰가루를 뿌린 듯한 병반이 나타나고, 후기로 갈수록 흰색에서 회색으로 변하며 잎이 고사하는 증상이 나타난다(그림 6). 오이 잿빛곰팡이병(*Botrytis cinerea*)의 경우 저온다습한 환경에서 발생이 많았고, 어린 열매와 잎에 피해가 많았다. 병징은 열매에서는 꽃잎이 붙어있는 끝부분에서 시작된다. 처음에는 작은 회갈색의 병반이 형성되고 점차 진전되면 회색 내지 담갈색의 대형 병반으로 확대된다. 유과는 말라서 떨어지고 성숙과실에서는 꼭지부분부터 물러썩는데 이 부위에 잿빛곰팡이가 밀생한다. 잎에서는 꽃잎이 떨어져 붙은 부위에서 시작되며 곰팡이의 색이 균핵병과 다르고 피해 부위에는 균핵이 형성되지 않는다(그림 7). 잘록병(*Rhizoctonia solani*)은 주로 오이의 유묘에서 발생하기 쉬우나 최근 사용하는 잘록병 저항성 대목으로 인해 농가에서 디러닝 영상을 확보하기 어려웠다. 때문에 KACC에서 분양받은 *Rhizoctonia solani* AG-1을 배양하여 포트에 키운 유묘에 인공접종하여 6월~10월에 영상을 촬영하였다. 증상은 유묘기의 고온에 의한 급성 증상의 경우 지제부가 잘록해지면서 썩고, 지상부로 나온 줄기는 회색에서 암갈색으로 변하면서 수침상으로 무르면서 말라 죽는다. 온도가 높지 않을 경우와 유묘기를 지난 경우 지제부가 갈라지거나 무르고 심해지면 말라 죽는 증상이 나타났다(그림 8).



<잎>

<열매>

그림 4. 오이 검은별무늬병의 발병부위별 병징



<초기>

<중기>

<후기>

그림 5. 오이 노균병의 진전 단계별 병징



<초기>

<중기>

<후기>

그림 6. 오이 잘록병의 진전 단계별 병징



<잎>

<열매>

그림 7. 오이 잿빛곰팡이병의 발병부위별 병징



<초기>

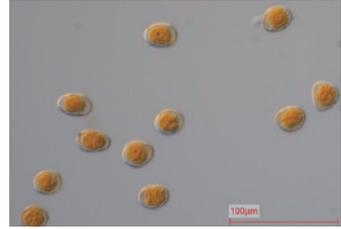
<중기>

<후기>

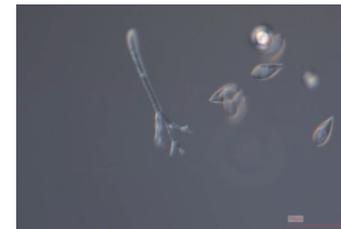
그림 8. 오이 흰가루병의 진전 단계별 병징

나. 파, 오이에 발생하는 주요 병해 표준 영상정보 확보

파에서는 표준영상으로 노균병, 녹병, 잎마름병 3종을 확보하였고(그림 9), 오이에서는 6종(검은별무늬병, 노균병, 잘록병, 잿빛곰팡이병, 흰가루병, 덩굴마름병)의 영상정보를 확보하였다(그림 10). 표준영상은 포장 피해사진과 진전 단계별 병해 사진을 확보하였다. 또한 배양이 가능한 병원균의 경우 PDA 배지에 순수분리 후 배양하여 동정을 진행하고, 7~14일 후 균총 사진을 확보하였다. 녹병, 노균병 등에서는 분생포자와 분생포자경, 포자가 없는 잘록병은 병반 근접사진을 포함하여 균사 등의 현미경사진을 확보하였다.



<파 녹병>



<파 노균병>

그림 9. 파 주요병해 표준영상



<오이 노균병>



<오이 잿빛곰팡이병>



<오이 흰가루병>

그림 10. 오이 주요 병해 표준영상



다. 주요 병해 영상진단 기술 현장 적용성 실증

오류수정 및 정확도 향상을 위해 딥러닝으로 개발된 스마트 병해충 진단 앱을 이용하여 파와 오이 농가 현장에서 실증을 실시하였다. 실증을 통해 학습된 딥러닝 데이터세트의 정확성과 재현성을 검토하였고, 1차, 2차 모두 90% 이상의 진단율을 확인하였다(그림 11).

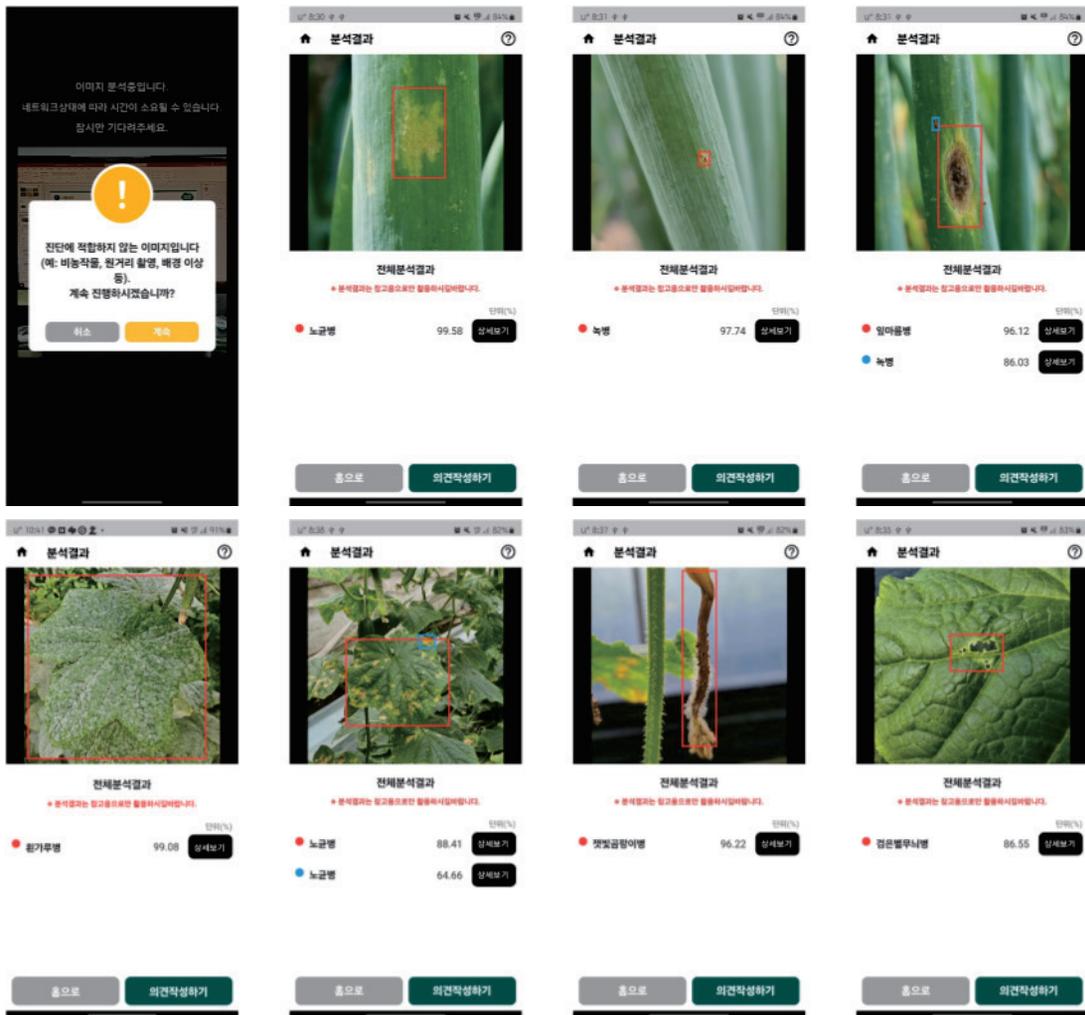


그림 11. 병해충 진단 앱 현장실증 결과

4. 적 요

딥러닝 기술을 이용한 인공지능기반의 병해충수집관리 프로그램(CMS) 딥러닝데이터 수집 및 NCPMS 고도화를 위한 병해별 데이터셋 구축 연구를 수행한 결과는 다음과 같다.

- 가. 과에서는 녹병, 노균병, 잎마름병 3종에 대한 2,117건의 딥러닝 영상정보를 확보하였으며, 오이에서는 검은별무늬병, 노균병, 잘록병, 잿빛곰팡이병, 흰가루병 5종에 대해 9,642건의 영상정보를 확보하였다. 이를 통해 파, 오이 주요 병해 진단을 위한 딥러닝 영상데이터를 구축하였다.
- 나. 과와 오이에 대한 표준 영상은 발병 단계별로 촬영되었으며, 병원균의 배양과 현미경 촬영을 통해 고품질의 이미지를 확보하였다. 과에서는 노균병, 녹병, 잎마름병에 대해 154건의 영상이 확보되었고, 오이에서는 검은별무늬병, 노균병, 잘록병, 잿빛곰팡이병, 흰가루병, 덩굴마름병 6종에 대해 323건의 영상이 확보되었다. 이를 통해 NCPMS 고도화를 위한 표준영상과 데이터셋이 작성되었다.
- 다. 개발된 스마트 병해충 진단 앱을 통해 파와 오이 농가에서 현장 실증을 진행하였으며, 실증을 통해 딥러닝 데이터셋의 정확도와 재현성을 검토하였고, 이를 바탕으로 병해충 진단 기술의 현장 적용 가능성을 확인하였다.

5. 인용문헌

- 국가농작물병해충관리시스템. 2025. 농촌진흥청. <https://ncpms.rda.go.kr>.
- Cornell Vegetable Program. 2016. Cornell Univ. <https://www.vegetables.cornell.edu>
- Gilles T, Kennedy R. et al. 2003. Effects of inoculum density and temperature on germination of *Puccinia allii* urediniospores and leek rust progress. *Phytopathology*.93(4):413-420
- Hwang SJ et al. 2016. “Analysis of the Introduction Status of Alien Plant Pests and Diseases.” *Proceedings of the Korean Society of Applied Entomology Conference*: 133-133
- Kapetas D, Christakakis P, Faliagka S, et al. 2023. AI-Driven Insect Detection, Real-Time Monitoring, and Population Forecasting in Greenhouses. *Inventions*. 7(2):29
- Kwon JH, et al. 2021. First report of rust on onion caused by *Puccinia allii* in Korea. *Can J Plant Pathol*. 43(sup2):S347-S351
- Lee IS, Kim W, Jo G, Yang KY. et al. 2024. Rapid detection of *Peronospora destructor* in onion by loop-mediated isothermal amplification (LAMP). *Phytopathology*. ;114(6):1237-1243
- UC IPM. 2017. University of California Agriculture & Natural Resources. <https://ipm.ucanr.edu>
- Wang S, Xu D, Liang H, et al. 2023. Advances in Deep Learning Applications for Plant Disease and Pest Detection: A Review. *Remote Sens*. 17(4):698



6. 연구결과 활용제목

- 오이 검은별무늬병 피해증상 영상정보 제공(영농활용, '22년)
- 오이 잿빛곰팡이병 피해증상 영상정보 제공(영농활용, '23년)
- 파 노균병 피해증상 병징 및 영상정보 제공(영농활용, '24년)

7. 연구원 편성

세부과제	구분	소속	직급	성명	수행업무	참여년도			
						'21	'22	'23	'24
파, 오이 주요 병해 딤러닝 영상정보 구축	책임자	환경농업연구과	농업연구사	유주형	세부과제 총괄	-	-	○	○
	공동연구자	〃	농업연구사	이영수	데이터 정리	○	○	○	○
	〃	〃	〃	최종윤	데이터 정리	○	○	○	○
	〃	〃	〃	김소희	데이터 정리	○	○	○	○
	〃	〃	농업연구관	이현주	시험성적 검토	○	○	○	○
	〃	작물연구과	〃	장정희	데이터 평가	-	-	○	-
	〃	환경농업연구과	〃	박중수	연구 자문	-	○	○	○