

무인항공기 촬영 정사영상을 이용한 재선충 감염목 탐지

Detection of pine wilt disease using Orthophoto taken from unmanned aerial vehicle

강동완¹

Dongwann Kang¹

요 약

소나무재선충병은 소나무, 해송, 잣나무, 섬잣나무 등 침엽수 소나무속의 나무들이 소나무재선충에 의해 감염되는 병으로, 북미에서 시작되어 유럽과 한국을 포함한 아시아로 확산되어 산림자원에 막대한 피해를 주고 있다. 특히, 지구온난화 및 가뭄 등 최근의 급격한 기후 변화로 인해 그 확산세가 더 가속화되고 있는 추세이다. 최근 무인항공기 운용 기술이 발전하면서 재선충감염목의 조기탐지를 통한 예찰이 도입되고 있다. 특히, 영상분야에서의 인공지능망 기술의 급격한 발전은 무인항공기를 이용하여 감염목을 자동으로 탐지하는 것에 대한 가능성을 높이고 있으며 최근 많은 연구들이 이에 도전하고 있다. 본 연구에서는 객체 탐지에 탁월한 성능을 보이고 있는 영상 기반 인공지능망 기술을 이용하여 무인항공기 촬영 정사영상으로부터 소나무재선충 감염목을 자동으로 탐지하는 방법을 제안한다. 그리고 실험을 통해 본 연구에서 제안한 방법이 소나무재선충 감염목 예찰에 효과적임을 보인다.

핵심어 : 무인항공기, 소나무재선충병, 인공지능망, 감염목 탐지

Abstract

Pine wilt disease is a disease in which Conifers, such as *pinus densiflora*, *myriophathes japonica*, *pinus koraiensis*, and *Pinus parviflora* are infected by pine wilt nematodes, and started in North America and spread to Europe and Asia including Korea, causing enormous damage to forest resources. In particular, due to recent rapid climate change such as global warming and drought, the spread is accelerating. Recently, with the development of unmanned aerial vehicle (UAV) operations, forecasting through early detection of infected trees is being introduced. Especially, the rapid development of artificial neural networks in the imaging fields is increasing the possibility of automatically detecting infected trees by using UAVs and many recent studies are challenging it. In this study, we propose a method for automatically detecting the infected trees from orthophotos taken by UAVs by employing image-based artificial neural networks, which has been showing excellent performance in object detection. Also, through experiments, we show that the proposed method is effective in forecasting the infected trees.

Keyword : UAV, Pine Wilts Disease, Artificial Neural Networks, Detection of Infected Tree

¹ Dept. Computer Science and Engineering, Seoul National University of Science and Technology, Seoul, Korea [Professor]
e-mail: dongwann@seoultech.ac.kr

* 본 연구는 산림청 산림과학기술 연구개발사업(2021338B10-2123-CD02)의 지원에 의하여 이루어진 것입니다.

Received(December 9, 2022), Review Result(1st: January 8, 2023, 2nd: January 30, 2023), Accepted(February 10, 2023), Published(February 28, 2023)



© 2023 The Authors. Published by NCISS.
This is an open access article licensed under the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.
To view a copy of this license, visit <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>.

1. 서론

소나무재선충병은 소나무, 해송, 잣나무, 섬잣나무 등 침엽수 소나무속의 나무들이 소나무재선충에 의해 감염되는 병으로, 북미에서 비롯되어 20세기 초반에는 일본으로, 후반에는 한국을 비롯한 아시아 전역과 포르투갈, 스페인을 포함한 유럽으로 확산되어 산림자원에 막대한 피해를 주고 있다 [1]. 특히, 지구온난화 및 가뭄 등 최근의 급격한 기후 변화로 인해 그 확산세가 더 가속화되고 있는 추세이다. 국내의 경우, 2005년부터 2015년까지 집계된 소나무재선충병으로 인한 피해액이 약 1조 170억원에 달하는데, 이는 같은 기간 다른 산림병해충으로 인한 임산물 피해액이 84억원으로 집계된 것과 비교했을 때, 전체 산림병해충으로 인한 피해의 대다수에 소나무재선충병이 기여했음을 알 수 있다 [2][3].

소나무재선충병을 야기하는 소나무재선충은 크기 1mm 내외의 작은 선충으로, 일반적으로 수염하늘소 속의 많은 수피 딱정벌레들과 천공충들을 매개충으로 하여 몸 속에 서식하다가, 매개충이 나무를 갉아먹을 때 나무로 침투한다 [4]. 침투한 재선충으로 인해 감염목 내부의 수관부에 생성되는 공기충은 수분의 이동을 막는 공기 색전증을 유발 [5]하고 감염목을 단기간에 급속히 시들어 말라 죽게 만든다. 이 과정에서 잎의 갈변 및 황변이 발생하며 잎이 아래로 처지는 시각적 특징을 보이는데, 회복이 불가능하여 감염 후 2~3개월 내에 감염목이 고사하게 된다.

소나무재선충병은 소나무재선충 및 매개충의 생애 주기와 밀접하게 연관된다. 가을에 매개충이 고사목에 100여개의 알을 산란하면, 부화한 유충이 번데기 형태로 겨울을 나게 된다. 이때, 소나무재선충이 번데기로 침투하여 기생하게 되고, 이듬해 봄에 우화된 매개충이 건강한 소나무로 옮겨가 활동하게 되면서 나무 조직속으로의 소나무재선충 침투가 이뤄져 소나무재선충병의 감염이 전파된다.

소나무재선충병으로 인한 산림자원의 피해가 커짐에 따라, 국내에서는 산림병해충에 대한 예찰 기술을 개발하는 것에 집중하여 왔다. 기존에는 현장에 인력이 직접 투입되어 예찰을 진행해야 하는 어려움이 있었다. 평지와 달리, 이동 루트가 제한적인 산악 지형에서 직접 감염 의심목을 찾아가 예찰을 하는 것은 예찰 효율을 떨어뜨렸으며, 인력이 도달하기 어려운 험준한 지역에서는 가시권을 벗어난 곳의 예찰을 하는 것이 불가능했다. 이를 해결하기 위해, 국립산림과학원은 2010년 GIS, GPS와 헬기를 이용한 항공 정밀 예찰 기술을 개발하였다 [6]. 이로써 산림병해충 예찰에 사용가능한 고해상도의 정밀 영상 촬영이 가능해져 예찰의 효율이 향상될 수 있었다. [7]은 2011년 휴대용 근적외선 카메라를 이용한 소나무재선충 감염목의 조기감별에 대한 연구를 수행하였다. 촬영된 영상으로부터 통계학적 분류방법을 통해 감염목을 자동 분류하고자 시도했는데, 인력에 의존해왔던 예찰에 자동화를 도입할 수 있음을 보였다. 국립산림과학원은 2015년 시계열 초분광 항공

영상을 이용한 소나무재선충병 발생시기별 감염목 탐지에 관한 연구를 수행하였다 [8]. 이전 감염목과 당년 감염목의 공간 분포를 분석하는 등 감염 확산 특성에 대해 고찰하였다.

드론을 비롯한 무인항공기가 대중화되고 고도화됨에 따라 소나무재선충병의 예찰에 무인항공기 운용 기술이 도입되었다. 한국임업진흥원은 2016년부터 지속적으로 무인항공기를 이용한 예찰을 실시해왔고, 이를 통해 약 8만 그루의 소나무재선충병 감염의심목을 발견할 수 있었다. 이는 2014년 이후 국내 소나무재선충병 피해액이 감소 추세로 전환되는데 크게 기여했으며, 산림병해충 조기 방제 기반을 마련하는데 성공하였다고 평가받는다. [9]는 2017년 무인항공기를 이용한 소나무재선충병 선단지 예찰 기법에 대한 연구를 수행하였다. 세종시에서 수행된 이 연구는 소나무재선충병 예찰을 위한 무인항공기에서의 정사영상 촬영에 초점을 맞추었고, 촬영된 정사영상은 이후 전문가에 의해 감염의심목을 탐지하는데 사용되었다.

최근 인공지능망 기술의 눈부신 발전으로 인해 영상을 분류하거나 영상 속 대상을 탐지하는 기술이 소나무재선충병 의심목 탐지에도 적용되기 시작했다. 2019년 [10]은 무인 항공기에서 촬영된 소나무재선충병 감염목들의 사진 데이터셋을 ANN과 SVM등 고전적인 지도학습을 이용한 영상 분류 기법에 적용하였고, 항공사진으로부터 소나무재선충병 감염의심목을 자동으로 탐지할 수 있음을 보였다. [11]은 무인항공기에서 촬영한 5밴드의 정사영상을 획득한 뒤, ResNet18을 백본으로 하는 패치기반의 분류기를 통해 소나무재선충 감염목을 탐지하는 연구를 수행했다. 다중 분광영상을 사용함으로써 RGB 영상에 비해 분류 성능의 개선을 달성하였다. [12]는 무인항공기를 통해 영상 데이터를 획득하여 정사영상을 제작하고 인공지능망 기반의 semantic 세그멘테이션 기법인 SegNet [13]과 영상내 오브젝트 검출방법인 YOLOv2 [14]를 이용해 감염목을 검출하였다.

본 연구에서는 이와 같이 급격한 발전을 거듭하고 있는 영상 기반 인공지능망 기술을 무인항공기 촬영 정사영상에 접목하여 재선충 감염목을 자동으로 탐지하는 방법을 제안하고 그 실험 결과를 통해 제안한 방법이 효과적임을 보인다. 본 논문의 2절에서는 본 연구에서 재선충 감염목 탐지를 위한 영상 데이터를 수집한 지역에 대한 소개와 그 취득방법을 설명한다. 3절에서는 본 연구에서 사용한 인공지능망 기반 재선충 감염목 탐지를 위한 데이터셋 취득 및 구축 방법을, 4절에서는 인공지능망 모델의 선정과 학습과정 및 그 결과를 보인다. 5절에서는 결론과 함께 향후 연구 방향을 제시한다.

2. 조사 지역 및 데이터 취득

2.1 조사지역

본 연구에서는 먼저 재선충 감염목 영상 데이터를 취득하기 위한 조사지역을 지정하였다. 이를 위해 2021년 8월 기준 산림청 제공의 “전국 소나무류 반출금지구역 지정현황” 자료를 참고하여 전

국의 소나무재선충 감염목 발생 현황을 파악하였고, 감염목이 밀집하여 데이터 취득이 용이한 지역을 선별한 뒤, 효율적인 이동 동선 및 접근 용이성을 고려하여 경상남도 하동군 금성면 가덕리 일대의 산과 경상남도 거창군 남하면 양항리 일대의 산 [그림 1], [그림 2]을 조사지역으로 최종 선정하였다.



[그림 1] 조사지역: 경남 하동군 금성면 가덕리 (좌), 경남 거창군 남하면 양항리 (우)

[Fig. 1] Location of study area: Gadeok-ri, Geumseong-myeon, Hadong-gun, Gyeongsangnam-do (left) and Yanghang-ri, Namha-myeon, Geochang-gun, Gyeongsangnam-do (right)

조사지역 중, 하동군은 해발 100미터 이내의 낮은 산지이나 거창군은 최대 해발 600미터에 달하는 산악지형이며, 연평균기온은 12~14℃, 연평균 강수량 1,500mm 내외의 분포를 보이는 온대기후 지역이다. 본 연구팀은 2021년 8월 18일부터 3일간 해당 지역에 방문하여 각 지자체 산림과의 협조를 통해 재선충 감염목의 정확한 위치정보를 안내받은 뒤 조사를 수행하였다.



[그림 2] 거창군의 소나무 반출금지지역(좌) 및 감염목(우)

[Fig. 2] An area where pine trees are prohibited from being taken out in Geochang-gun (left) and an infected tree (right)

2.2 데이터 취득

본 연구팀은 산림과로부터 전달받은 위치정보를 이용해 도보로 재선충 감염목을 직접 찾아가

감염 특징을 눈으로 직접 식별한 후, 해당 감염목 일대를 무인항공기로 촬영하였다. 데이터 취득 및 학습과정에서 기체에 대한 종속성을 피하기 위해 서로 다른 기종의 기체들을 촬영에 사용하였지만, 조종 및 관리 편의를 위해 동일 제조사의 기체들을 사용하였다. 본 연구에서는 DJI 팬텀4 프로, DJI 매빅2, DJI 미니2의 총 3종의 기체 [그림 3]를 사용하였다.



[그림 3] 촬영에 사용된 3종의 기체(좌) 및 실제 촬영장면(우)

[Fig. 3] Three types of aircraft used for taking photos (left) and a shot where they are taking photos (right)

사용한 기체들은 정지영상뿐만 아니라 동영상 촬영 기능을 내장하고 있어 정지영상 대신 동영상 촬영을 사용하여 영상 데이터를 취득하였다. 연구팀은 재선충 감염목을 포함하는 지역 일대에 기체들을 비행하여 지면방향을 지속적으로 동영상 촬영하였다. 이 과정에서 영상 데이터의 고도 불균형을 피하기 위해 다양한 고도로 기체를 운용하였다. 또한 추후 영상에서 재선충 감염목의 위치를 식별하기 위해, 해당 감염목을 촬영한 시각을 별도로 기록하였다.

3. 재선충 감염목 탐지를 위한 정사영상 데이터셋 구축

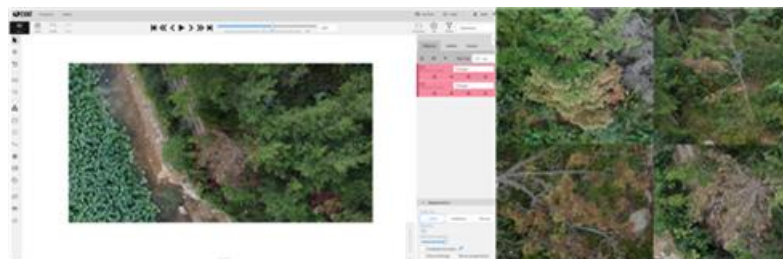
본 연구에서는 조사지역에서 촬영된 동영상으로부터 프레임들을 추출하여 재선충 감염목 영상 데이터셋을 구축하였다. 프레임 단위의 영상 추출 과정에서 영상 블러링을 억제하기 위해 ffmpeg 방식의 프레임 추출을 사용하였다. 프레임단위로 추출된 영상들은 프레임간 시간 간격이 수십분의 1초밖에 되지 않아 영상간 차이가 극히 적다. 따라서 이 영상들을 모두 데이터셋으로 사용할 경우, 데이터가 중복되는 문제가 발생하며, 학습과정에서도 매우 미세한 시간간격의 영상이 학습과 검증에 모두 사용될 수 있어 학습 성능을 저하시킬 수 있는 문제가 있다. 본 연구는 이를 해결하기 위해 연속 촬영된 하나의 동영상을 기준으로 임의의 프레임 간격으로 추출을 수행하여 영상 데이터 [그림 4]를 취득하였다. 이를 통해 본 연구팀은 약 4천장의 4K 영상 데이터를 취득하였다.



[그림 4] 무인항공기에서 촬영된 재선충 발발 지역 영상

[Fig. 4] Video of wilt disease outbreak area taken by UAVs

취득한 영상데이터를 지도학습에 사용하기 위해서는 각 데이터에 대한 레이블이 필요하다. 본 연구의 목표는 영상에서 재선충 감염목을 탐지하는 것이므로, 데이터셋에 재선충 감염목의 영상내 위치가 레이블링 되어야 한다. 이를 위해 본 연구에서는 CVAT(Computer Vision Annotation Tool)를 사용하여 각각의 영상들에 대한 레이블링 [그림 5]을 수작업으로 수행하였다. 이 과정에서 영상내 재선충 감염목을 식별하기 위해, 촬영당시 기록해두었던 감염목 촬영 시각과 영상 촬영시각을 대조하였고, 지자체 산림과로부터 제공받은 감염목의 위치정보를 통해 위성지도영상으로부터 감염목을 찾아 영상데이터내 감염 의심목과 외양 및 감염특성을 분석하였다.



[그림 5] CVAT를 이용한 레이블링

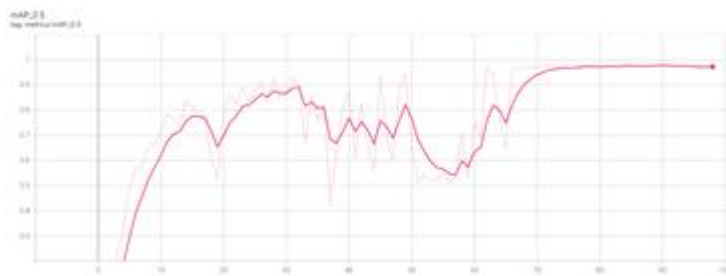
[Fig. 5] Labeling using the CVAT

취득한 영상데이터를 지도학습에 사용하기 위해서는 각 데이터에 대한 레이블이 필요하다. 본 연구의 목표는 영상에서 재선충 감염목을 탐지하는 것이므로, 데이터셋에 재선충 감염목의 영상내 위치가 레이블링 되어야 한다. 이를 위해 본 연구에서는 CVAT(Computer Vision Annotation Tool)를

사용하여 각각의 영상들에 대한 레이블링을 수작업으로 수행하였다. 이 과정에서 영상내 재선충 감염목을 식별하기 위해, 촬영당시 기록해두었던 감염목 촬영 시각과 영상 촬영시각을 대조하였고, 지자체 산림과로부터 제공받은 감염목의 위치정보를 통해 위성지도영상으로부터 감염목을 찾아 영상데이터내 감염 의심목과 외양 및 감염특성을 분석하였다.

4. 재선충 감염목 탐지 모델 및 실험 결과

본 연구에서는 재선충 감염목 탐지를 위해 YOLOv5 모델을 사용하였다. YOLOv5는 영상내 객체 탐지에 좋은 성능을 보이는 인공지능망 기반의 모델로써 탐지시간의 측면에서도 경쟁모델 대비 뛰어난 성능을 보이고 있기에 본 연구에 적합한 모델로 판단되었다. 3절에서 구축한 정사영상 데이터셋은 재선충 감염목 포함 영상이 1,800여장, 미포함 영상이 2,100여장으로 구성되어 있는데, 재선충 감염목 포함영상과 미포함영상을 1:1로 임의 선택하여 1,300장을 선별한 후 이 중 200장을 테스트 및 검증 셋으로 사용하였다. 레이블의 종류는 본 실험환경의 특성상, 재선충 감염목 1개로 제한되었다. 데이터셋은 모델의 입력 해상도에 맞게 416×416으로 일괄 조절되었다.



[그림 6] YOLOv5 기반 재선충 감염목 탐지 모델의 성능

[Fig. 6] The performance of YOLOv5-based model for detecting infected trees

Intel Core i9 X-series CPU와 GeForce RTX3090이 장착된 실험 환경에서 Pytorch와 CUDA를 이용해 구현된 모델의 학습 및 예측이 수행되었다. 학습에는 총 100 epoch가 사용되었고, 학습률과 배치 크기로 0.0001과 4의 값이 사용되었다. YOLOv5 모델은 탐지한 객체의 카테고리 및 영상내 객체를 가리키는 바운딩 박스를 예측하므로, 이를 통해 모델의 탐지 정확도를 평가할 수 있다. 본 연구의 실험에서는 mAP(mean Average Precision)를 통해 성능을 측정하였다. [그림 6]과 같이 mAP 기준 0.95 이상의 정확도를 달성하였는데, 이는 기존의 연구들에서 달성한 정확도를 상회하는 수치로 비교적 최신 객체 탐지 모델을 적용한 것이 요인으로 분석된다. [그림 7]은 본 연구에서 학습시킨 재선충 감염목 탐지 모델이 예측한 감염 의심목과 실제 감염목을 비교한 것으로 감염 특성이 보이는 지점을 비교적 정확히 예측하고 있는 것을 볼 수 있다.



[그림 7] Ground truth와 탐지 결과의 비교

[Fig. 7] Comparison of ground truth and detection results

5. 결론

본 연구에서는 무인항공기 촬영 정사영상에 최근 급격한 발전을 보이고 있는 영상 기반 인공지능 경망 기술을 결합하여 재선충 감염목을 탐지하는 방법을 제안하였다. 이 실험을 위해, 산림청 제공 데이터와 지자체의 협조를 얻어 조사지역을 선정하였고, 조사에 적합한 기체들로 촬영용 무인항공기를 구성 및 운용하였다. 현장에서 촬영한 동영상으로부터 영상 데이터셋을 구축하는 방법을 소개하였고, 이를 이용해 최신의 인공지능경망 기반 객체탐지 모델을 학습시켜 재선충 감염목을 영상으로부터 효과적으로 탐지하는 실험을 수행하였다. 그 실험 결과로써 비교적 신뢰할 수 있는 탐지 정확도를 얻을 수 있었고, 이는 인공지능경망 기반의 객체 탐지가 소나무 재선충병의 방재에 효과적으로 활용될 수 있음을 보인다.

본 연구는 비교적 제한된 시기에 제한된 지역에서 촬영된 영상을 기반으로 수행되었다. 산림지역의 특성상 계절에 따른 산림의 외관적 특성이 변화할 수 있기 때문에 이를 반영한 데이터셋 구축이 요구된다. 향후 연구에서는 다양한 시기에 더욱 다양한 지역에서 영상을 취득하여 데이터셋을 구축함으로써 학습 모델의 신뢰성을 높이고자 한다.

References

- [1] D. N. Proenca, G. Grass, P. V. Morais, "Understanding pine wilt disease: roles of the pine endophytic bacteria and of the bacteria carried by the disease-causing pinewood nematode", *MicrobiologyOpen*, vol. 6, no. 2, April 2017, pp. 1-20, doi: 10.1002/mbo3.415.
- [2] Y. Lee, H. Seok, J. Goo. "Pine Wilt Disease and control policy", Korea Rural Economic Institute, Naju, Jeollabuk-do, Korea, April 2014, [Online]. Available: www.krei.re.kr/krei/researchReportView.do?key=70&pageType=010301&bibliId=387758.
- [3] e-Nara Index, "Current status of occurrence and control of forest diseases and pests", index.go.kr, https://www.index.go.kr/unity/potal/main/EachDtlPageDetail.do?idx_cd=1310, (accessed February 10, 2023).
- [4] P. A. Donald, W. T. Stamps, M. J. Linit, T. C. Todd, "Pine Wilt", apsnet.org, <https://www.apsnet.org/edcenter/disandpath/nematode/pdlessons/Pages/PineWilt.aspx>, (accessed February 10, 2023).
- [5] K. Kuroda, T. Yamada, K. Mineo, H. Tamura, "Effects of cavitation on the development of pine wilt disease caused by *Bursaphelenchus xylophilus*", *Japanese Journal of Phytopathology*, vol. 54, no. 5, December 1988, pp. 606-615, doi: 10.3186/jjphytopath.54.606.
- [6] J. Kim, D. Kim, N. Park, "Development of an Aerial Precision Forecasting Techniques for the Pine Wilt Disease Damaged Area Based on GIS and GPS", *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*, vol. 13, no. 1, March 2010, pp. 28-34.
- [7] M. Kim, W. Lee, T. Kwon, D. Kwak, Y. Kim, S. Lee, "Early Detecting Damaged Trees by Pine Wilt Disease Using DI(Detection Index) from Portable Near Infrared Camera", *Journal of Korean Society of Forest Science*, vol. 100, no. 3, September 2011, pp. 374-381.
- [8] S. Kim, E. Kim, Y. Nam, W. Choi, C. Kim, "Distribution Characteristics Analysis of Pine Wilt Disease Using Time Series Hyperspectral Aerial Imagery", *Korean Journal of Remote Sensing*, vol. 31, no. 5, October 2015, pp. 385-394, doi: 10.7780/kjrs.2015.31.5.3.
- [9] M. Kim, H. Bang, J. Lee, "Use of unmanned aerial vehicle for forecasting pine wood nematode in boundary area: A case study of Sejong Metropolitan Autonomous City", *Journal of Korean Society of Forest Science*, vol. 106, no. 1, March 2017, pp. 100-109, doi: 10.14578/jkfs.2017.106.1.100.
- [10] S. Lee, S. Park, G. Baek, H. Kim, C. Lee "Detection of Damaged Pine Tree by the Pine Wilt Disease Using UAV Image", *Korean Journal of Remote Sensing*, vol. 35, no. 3, June 2019, pp. 359-373, doi: 10.7780/kjrs.2019.35.3.2.
- [11] R. Zhang, J. You, D. Kim, S. Lee, J. Lee, "Searching Damaged Pine Trees by Wilt Disease Based on Deep Learning Using Multispectral Image", *The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences*, vol. 45, no. 11, November 2020, pp. 1823-1830, doi: 10.7840/kics.2020.45.11.1823.
- [12] E. Lim, M. Do, "Pine Wilt Disease Detection Based on Deep Learning Using an Unmanned Aerial Vehicle", *KSCE Journal of Civil and Environmental Engineering Research*, vol. 41, no. 3, June 2021, pp. 317-325, doi: 10.12652/Ksce.2021.41.3.0317.
- [13] J. Park, M. Lee, S. Choi, "Analysis of Trees Damaged by Pine Wilt Nematodes Using Unmanned Aerial

Images”, Journal of The Korean Cadastre Information Association, vol. 23, no. 2, August 2021, pp. 78-86, doi: 10.46416/JKCIA.2021.08.23.2.78.

- [14] J. Redmon, A. Farhadi, “YOLO9000: better, faster, stronger”, IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, July 22-25, 2017, Hawaii, USA, pp. 7263-7271, doi: 10.1109/CVPR.2017.690.