

[한림대학교 SW중심대학 사업]

Capstone Design(종합설계) 결과보고서

교과목명		소프트웨어캡스톤디자인			
과제명		AI 기반 식물 관리 어플리케이션			
팀명		원기원			
지도교수		임성훈 교수님			
참여 학생	대표	소속학과	학번	성명	연락처
		스마트 IoT	20217137	강슬기	010.2315.5063
	팀원	소속학과	성명	소속학과	성명
		빅데이터	김진원	스마트 IoT	서정원
참여분야		<input checked="" type="checkbox"/> AI <input type="checkbox"/> Game & AR/VR <input type="checkbox"/> Web & App & 시스템개발			
참여기업		버즈앤비(주)			
지식재산권		유형	<input type="checkbox"/> 특허 <input type="checkbox"/> 실용신안 <input type="checkbox"/> 상표 <input type="checkbox"/> 디자인 <input type="checkbox"/> 기타()		
		명칭(출원명)			번호
Github		- https://github.com/SeulGi0117/onekeyone.git			
오픈소스사용		- Plant.Id API https://www.kindwise.com/plant-id - 농사로 API https://www.nongsaro.go.kr/portal/ps/psz/psza/contentMain.ps?menuId=PS00376&pageUnit=8 - YOLOv5 https://github.com/ultralytics/yolov5.git - EfficientNet-B0 https://arxiv.org/abs/1905.11946 - YOLO 학습데이터셋 https://universe.roboflow.com/temp-3-pm4kq/leaf-izwde/dataset/1 - TensorFlow PlantVillage https://data.mendeley.com/datasets/tywbtsjrjv/1 - OLID-I 데이터셋 https://www.kaggle.com/datasets/feyzazkefe/olid-dataset			

과제 목적

현대인들은 바쁜 일상 속에서 시간 부족과 관리 방법에 대한 지식 부족으로 인해 식물 관리에 어려움을 겪고 있다. 특히 부모님이 주말에만 집에 계시는 상황에서 여러 식물을 돌보며 느낀 경험에서 식물 관리의 어려움과 동기부여 부족의 문제를 인식하게 되었다. 게임 속 캐릭터를 키우는 경험에서 영감을 받아, 성취감을 느끼며 꾸준히 식물을 관리할 수 있는 시스템을 고안하게 되었다.

본 과제의 목표는 AI와 IoT 기술을 활용하여 식물의 상태를 실시간으로 모니터링하고 적절한 관리 정보를 제공하는 시스템을 구축하는 것이다. 모바일 앱을 통해 사용자는 식물별 적정 온도, 습도, 물 주기, 햇빛 요구량 등의 정보를 쉽게 확인하고 관리할 수 있다.

게이미피케이션 요소를 통해 관리 과정에 재미와 성취감을 더하며, 사용자가 지속적으로 식물 관리에 참여하도록 동기를 부여하고자 한다.

궁극적으로, 이 시스템은 식물 관리의 효율성을 높이고, 사용자가 보다 적극적으로 식물 관리에 참여할 수 있는 환경을 조성하는 것을 목표로 한다.

과제 내용

현재 시중의 스마트 화분 시스템들은 단순히 센서를 통한 데이터 수집과 자동 급수 시스템에만 초점이 맞춰져 있어, 실질적인 식물 관리에 필요한 **질병 진단**이나 **맞춤형 관리 정보 제공**이 **미흡**한 상황이다. 또한 자동 급수 시스템은 편리성을 제공하지만, 이로 인해 사용자가 식물과 직접적인 교감을 하는 기회가 줄어들어 반려식물로서의 의미가 퇴색되는 문제가 있으며, 대부분의 스마트 화분 제품들이 고가에 형성되어 있어 일반 사용자들의 접근성이 떨어진 다. 하드웨어와 소프트웨어의 연동이 복잡하여 사용자들이 어려움을 겪고 있다.

기존의 식물 질병 진단 서비스들은 사용자가 직접 식물을 다양한 각도에서 여러장 촬영하여 업로드해야 하는 번거로움이 있어 지속적인 모니터링이 어렵고, 질병의 조기 발견이 늦어지는 문제가 있다.

이러한 문제점들을 해결하기 위해 본 프로젝트에서는 **AI 기술과 IoT 센서를 결합한 새로운 접근 방식을 도입**하였다. 아두이노의 ESP32-CAM을 통해 주기적으로 식물의 상태를 자동 촬영하고 이를 AI로 분석하여 질병을 조기에 감지하고 진단할 수 있도록 구현하였다. 자동 급수 시스템 대신, 센서 데이터를 기반으로 사용자가 직접 물을 주는 과정을 통해 식물과 교감할 수 있도록 설계하였다. 이를 통해 사용자가 단순히 편리함만을 추구하는 것이 아니라, 식물의 성장 과정에 적극적으로 참여하며 반려식물로서의 의미를 되새길 수 있는 경험을 제공하고자 한다.

IoT 센서를 통해 실시간으로 온도, 습도, 토양 수분, 조도 등을 측정하여 정확한 데이터 기반의 식물 관리가 가능하도록 구현했으며, 직관적인 앱 인터페이스를 통해 누구나 쉽게 사용할 수 있도록 설계하였다. 또한 퀘스트 시스템을 도입하여 식물 관리에 대한 동기부여를 제공하고, 사용자가 식물 관리에 적극적으로 참여할 수 있도록 유도하였다.

1) AI 기반 식물 진단 시스템 개발

1.1) AI 기반 식물 종 예측 및 맞춤형 관리 정보 제공

사용자가 핸드폰 카메라를 이용해 관리하고자 하는 식물 사진을 촬영하면, Plant.Id API를 활용하여 촬영된 식물의 종류를 AI로 자동 예측한다. 이 과정에서 Plant.Id API는 딥러닝 모델을 통해 입력된 사진의 특징을 분석하여 약 20,000종 이상의 식물 데이터베이스와 비교하여 해당 식물이 어떤 종류인지 예측한다.

이를 기반으로 사용자가 관리하려는 식물에 대한 이름을 제공하고, 농촌진흥청의 농사로 API와 연동하여 맞춤형 관리 정보를 연계하여 제공한다. 농사로 API는 약 217종의 실내 정원용 식물에 대한 상세 관리 정보를 제공한다. 이 관리 정보는 사용자가 촬영한 식물의 특성에 맞게 커스터마이징되어, 적정 온도와 습도, 비료 종류와 주기, 토양 조건, 물 주기, 광 요구량, 배치 장소, 흔히 발생하는 병해 정보 등이 포함된다.

이후 생성된 관리 정보는 식물의 프로필 형태로 자동 등록되며, 사용자는 등록된 프로필을 통해 언제든지 자신의 식물을 효율적으로 관리할 수 있다. 이 기능은 사용자가 식물의 생태적 요구를 정확히 이해하고, 최적의 조건을 유지하도록 지원함으로써 반려식물 관리의 전문성을 높이는 데 기여한다.

1.2) AI 기반 식물 질병 진단 및 관리 기능

식물의 질병을 조기에 발견하고 적절한 관리를 돕기 위해 AI 기술을 활용한 자동 진단 시스템을 구축하였다. 아두이노 카메라로 일정 주기마다 식물의 사진을 촬영한 후 YOLO(You Only Look Once) 모델을 사용하여 식물의 잎을 분석한다. YOLO 모델은 사진에서 식물의 잎을 탐지하고, 각 잎의 상태를 '건강함(healthy)' 또는 '병들(unhealthy)'으로 분류하며, 병든 잎이 탐지되면 해당 잎만 추출하여 EfficientNet-B0 모델에 입력된다.

EfficientNet-B0은 딥러닝 기반의 이미지 분류 모델로, 입력된 잎 이미지를 분석하여 질병 여부를 예측한다. 이 과정에서 모델은 TensorFlow의 PlantVillage 데이터셋, 직접 수집한 과습, 건조 데이터셋, 0LID-I 데이터셋을 활용하여 주로 집에서 키우는 식물에서 발생할 수 있는 질병이나 식물 초보자가 자주 겪는 과습(물 많이 주기) 또는 건조와 같은 문제를 포함 본 프로젝트에 적합한 클래스로 정리하여 총 25가지 클래스의 질병을 분류하도록 설계되었다.

이를 통해 단순히 병해 진단뿐 아니라 초보자도 쉽게 식물을 관리할 수 있도록 맞춤형 솔루션을 제공한다. 진단 결과는 사용자에게 알림으로 전달되며, 질병의 증상과 원인, 처방 정보가 함께 제공되어 반려식물의 건강 상태를 조기에 파악하고 문제를 해결할 수 있도록 돕는다. 또한, 데이터 수집과 모델 개선을 통해 진단의 정확도를 지속적으로 향상시킨다.

2) IoT 아두이노 센서와 데이터 연동을 통한 식물 상태 모니터링

2.1) 실시간 식물 상태 추적 시스템

ESP32 웹캠과 온습도 센서, 토양 습도 센서, 조도 센서로 구성된 아두이노 기반 IoT 키트를 개발하여 실시간 식물 상태를 추적한다. 사용자가 키트를 반려식물에 설치하면, 센서가 실시간으로 데이터를 수집해 파이어베이스(Firebase) 클라우드에 저장한다. 센서 데이터는 식물의 온도, 습도, 토양 수분 상태, 빛의 강도 등을 포함하며, 촬영된 식물 사진도 함께 저장된다. 앱은 파이어베이스와 연동되어 사용자가 등록한 식물의 상태를 실시간으로 확인할

수 있다. 예를 들어, 토양 수분이 기준치보다 낮아지면 앱이 사용자에게 알림을 보내 물을 줄 시기를 알려준다. 또한, 조도 센서와 온습도 센서 데이터를 분석하여 식물이 너무 강한 햇빛을 받거나 적정 온도 범위를 벗어난 경우에도 관리 정보를 제공한다.

특히, 농사로 API에서 제공하는 관리 정보와 센서 데이터를 통합 분석하여, 식물별 맞춤형 관리 지침을 제시한다. 이 시스템은 사용자가 반려식물의 상태를 사전에 예측하고 문제를 해결할 수 있도록 돕는 중요한 역할을 한다.

3) 모바일 애플리케이션 개발

3.1) Flutter 기반 앱 개발

애플리케이션 개발에는 Flutter를 사용하였다. Flutter는 하나의 코드베이스로 iOS와 Android 앱을 동시에 개발할 수 있는 크로스 플랫폼 개발이 지원되며, 풍부한 위젯 제공과 커스텀 위젯 제작이 용이하며, 활발한 커뮤니티를 통해 다양한 서드파티 패키지를 지원받을 수 있다.

3.2) 게이미피케이션 요소: 퀘스트 시스템 도입

사용자가 반려식물과 더 깊이 교감할 수 있도록 퀘스트 요소를 도입하였다. 퀘스트는 일일 퀘스트와 누적 퀘스트로 구성되며, 물주기, 햇빛 3시간 이상 쬐기, 일주일간 식물 건강 유지, 식물 별명 짓기 등 다양한 활동을 통해 사용자가 식물 관리에 자연스럽게 참여하도록 유도한다. 퀘스트를 완료하면 포인트를 획득할 수 있으며, 이 포인트는 앱 내의 스토어에서 화분, 비료, 영양제, 토양 등 식물 관리에 필요한 다양한 제품을 구매할 수 있도록 구성되었다. 이러한 보상 시스템은 단순히 게임 요소를 넘어, 사용자가 지속적으로 반려식물을 관리하고 흥미를 유지할 수 있도록 설계되었다.

퀘스트는 단순한 미션 수행이 아니라, 식물 상태 개선이나 새로운 활동을 통해 사용자와 식물 간의 유대감을 형성하고 강화하는 것을 목표로 한다. 사용자는 퀘스트를 수행하는 과정에서 식물의 요구를 이해하며 책임감 있는 식물 관리 문화를 자연스럽게 익힐 수 있다.

퀘스트 시스템을 통해 사용자는 게임처럼 식물 관리에 재미를 느끼는 동시에, 실제 식물 관리 능력을 점진적으로 향상시키도록 돕는다.의 요구를 자연스럽게 이해하고, 책임감 있는 반려 식물 관리 문화를 형성할 수 있다.

3.3) 포인트 기반 스토어 기능

퀘스트를 통해 적립한 포인트는 앱 내 스토어에서 사용할 수 있다. 스토어에서는 식물 비료, 영양제, 아두이노 식물 관리 키트, 원예 도구 등 식물 관리에 필요한 다양한 상품을 구매할 수 있다. 포인트는 현금처럼 사용 가능하며, 사용자는 자신이 관리하는 식물의 필요에 따라 필요한 물품을 구매해 식물 관리를 효율적으로 이어갈 수 있다.

이 기능은 사용자가 반려식물을 꾸준히 관리할 수 있도록 동기 부여를 강화하는 역할을 한다. 특히, 관리 행동에 따른 즉각적인 보상이 주어지기 때문에, 사용자는 식물 관리의 재미를 느끼고 성취감을 얻을 수 있다. 포인트 기반 스토어는 사용자와 반려식물 간의 상호작용을 더욱 활성화시키는 중요한 요소로 작용한다.

3.4) 식물 관리 기능

사용자가 등록한 모든 식물들의 현재 상태와 관리 현황, 각 식물별 최근 센서 데이터와 마지막 물주기 날짜 등 핵심 정보를 한눈에 파악할 수 있다. 센서 데이터를 실시간으로 분석하고 ESP32-CAM으로 식물 건강상태를 확인하여, 건강하지 않은 상태로 진단될 경우 해당 증상과 병명, 원인을 상세히 제공한다. 또한 등록되지 않은 식물의 질병 진단을 위한 별도의 '식물 진단하기' 기능을 구현하여, 사용자가 언제든지 식물의 건강 상태를 확인할 수 있도록 하였다.

이러한 AI 기술, IoT 센서, 모바일 앱의 유기적인 결합을 통해, 본 프로젝트는 기존 스마트 화분 시스템의 한계를 극복하고 사용자들에게 더욱 실용적이고 효과적인 식물 관리 솔루션을 제공할 수 있게 되었다. 특히 자동화보다는 사용자의 직접적인 참여를 유도하여 반려식물로서의 의미를 강화하고, 첨단 기술을 통해 효과적인 식물 관리를 지원하는 새로운 방향성을 제시하였다.

4) 과제를 수행하면서 발생함 문제점과 해결 방안

4.1) YOLO와 EfficientNet-B0 통합 파이프라인 구축

본 과제에서 선택한 EfficientNet-B0 모델은 TensorFlow의 PlantVillage 데이터셋으로 학습된 식물 단일 잎 데이터 기반의 질병 탐지 모델이다. 그러나 아두이노 카메라로 촬영한 사진은 식물 전체 사진으로, 모델이 입력된 이미지를 배경으로 분류하거나 질병 분류에 실패하는 문제가 발생하였다. 이 문제점을 해결하고자 EfficientNet-B0 앞에 YOLOv5 모델의 추가 학습을 통해 통합하는 방식을 택하였다. YOLOv5 모델을 사용하여 식물 전체 사진에서 '건강한 잎', '병든 잎'의 단일 잎을 탐지하고 라벨링하여, '병든 잎'으로 탐지된 단일 잎 이미지를 EfficientNet-B0의 입력으로 전달하였다.

4.2) 아두이노 카메라의 화질 문제

아두이노 카메라로 촬영한 식물 사진의 해상도가 낮아 식물 잎의 질병 특징이 흐릿하게 표현되어 AI 모델이 질병을 정확히 분류하지 못했다. 또한, 해상도를 높이면 파일 용량이 커지고, Firebase 업로드 시 사진이 손실되거나 색감이 왜곡되는 문제가 발생하였다.

아두이노 카메라의 해상도를 AI 모델이 질병 특징을 포착할 수 있을 정도로 높이고, 사진 촬영 주기를 30초 간격으로 설정하여 데이터 처리 효율성 확보하여 Firebase에 업로드가 원활하도록 최적화하였다. 또한 다양한 각도와 조도에서 아두이노 카메라로 약 300장의 식물 사진을 촬영하여 추가 데이터셋을 새로 구축하고 병든 잎을 라벨링하여 YOLO와 EfficientNet의 학습에 사용하였다. 추가 학습을 통해 아두이노 카메라로 촬영된 실제 사진에서도 질병 분류 성능이 향상 되었다. 이전에는 배경이나 건강한 잎으로 잘못 분류하던 사례가 개선되었으며, 병든 잎의 질병 특징을 명확히 탐지할 수 있었다.

5) AI 모델 성능 평가

5.1) YOLOv5 모델의 학습 결과 분석

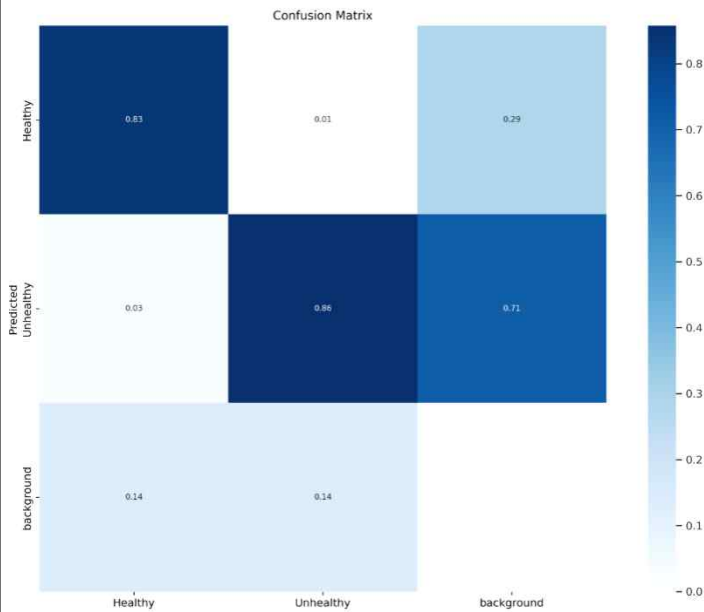


Figure 1: YOLOv5의 혼동 행렬(Confusion Matrix)

Healthy와 Unhealthy 분류 정확도: Healthy와 Unhealthy 간의 혼동은 적으며, Background 클래스와도 명확히 구분된다.

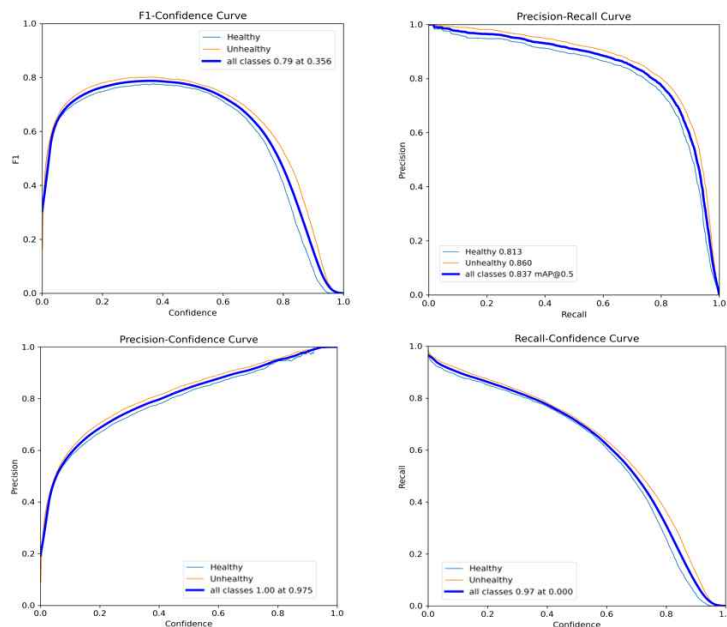


Figure 2: YOLOv5 학습 결과 그래프

YOLOv5의 학습 결과는 F1-Confidence Curve, Precision-Recall Curve, Precision-Confidence Curve, Recall-Confidence Curve로 평가되었다.

F1-Confidence Curve: 모든 클래스에서 confidence 값 0.356에서 **F1-score**가 0.79 로 가장 높았다. 이는 모델이 적절한 confidence threshold를 통해 안정적인 성능을 보였음을 의미한다. **Precision-Recall Curve:** YOLOv5 모델은 모든 클래스에서 평균 **mAP@0.5**가 0.837 로, 높은 정확도를 달성했다. 특히 'Unhealthy' 클래스에서의 Precision은 0.86으로 우수한 성능을 보였다.

Precision-Confidence 및 Recall-Confidence Curve: Precision은 confidence가 높아질수록 1.00에 수렴하며, Recall은 낮은 confidence 값에서 높은 값을 유지해 모델의 안정적인 성능을 보여준다.

5.2) EfficientNet-B0 모델의 학습 결과 분석

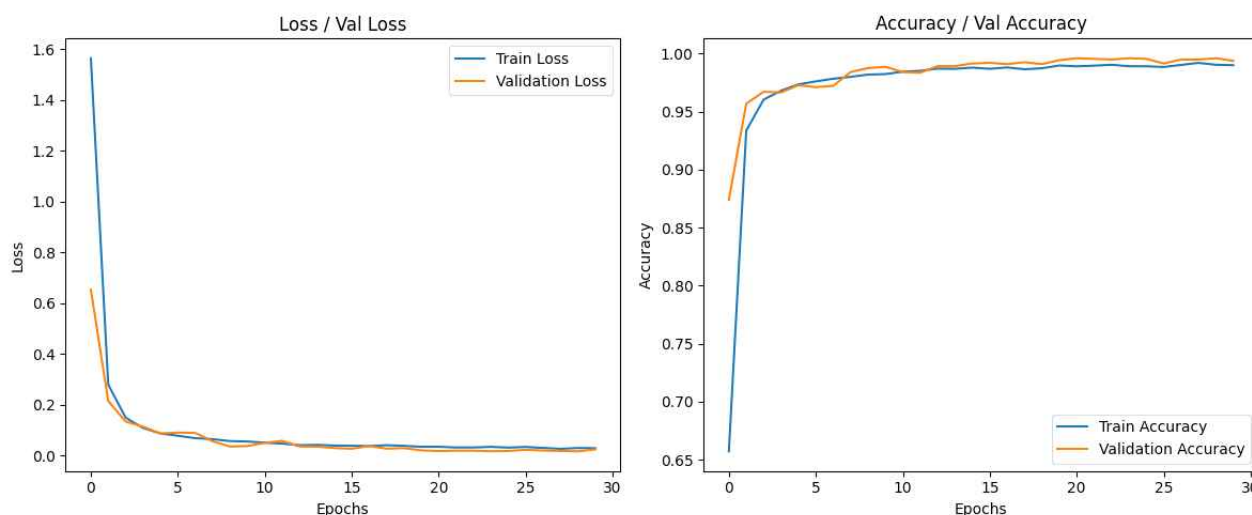


Figure 3: EfficientNet-B0 학습 결과 (Loss/Accuracy)

Train vs Validation Loss: Epoch이 진행됨에 따라 학습 손실(Train Loss)과 검증 손실(Validation Loss)이 모두 감소하며 안정화되었다. 초기 과적합 우려는 있었으나, 이후 두 곡선이 유사하게 수렴하여 모델의 일반화 성능이 우수함을 보여준다. 학습 및 검증 정확도 모두 약 95% 이상으로 높은 성능을 보였고, 최종적으로 정확률 99.6%, 손실 0.0157의 학습 모델을 선택하였다.

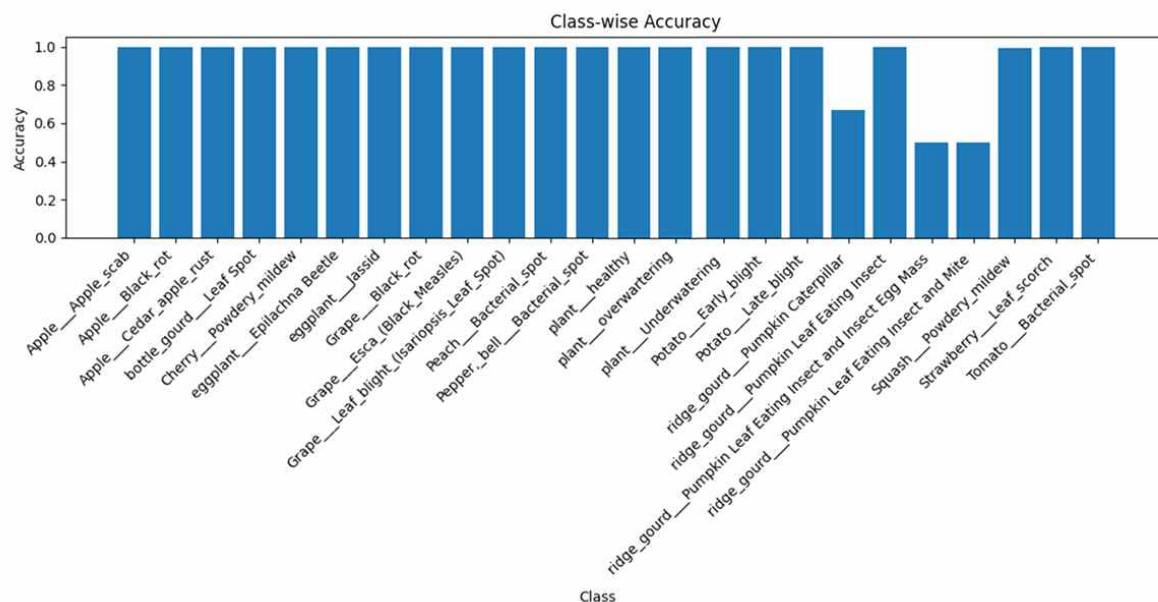


Figure 4: EfficientNet 테스트 세트 클래스별 정확도

Test Data set 에서 클래스별 정확도는 전반적으로 높은 수준을 유지하며, 대부분의 클래스에서 100%에 가까운 정확도를 달성하였다. 대부분의 클래스에서 0.9 이상의 높은 정확도를 기록하며, EfficientNet이 다양한 식물 잎 질병에 대해 우수한 분류 성능을 발휘했음을 보여준다.

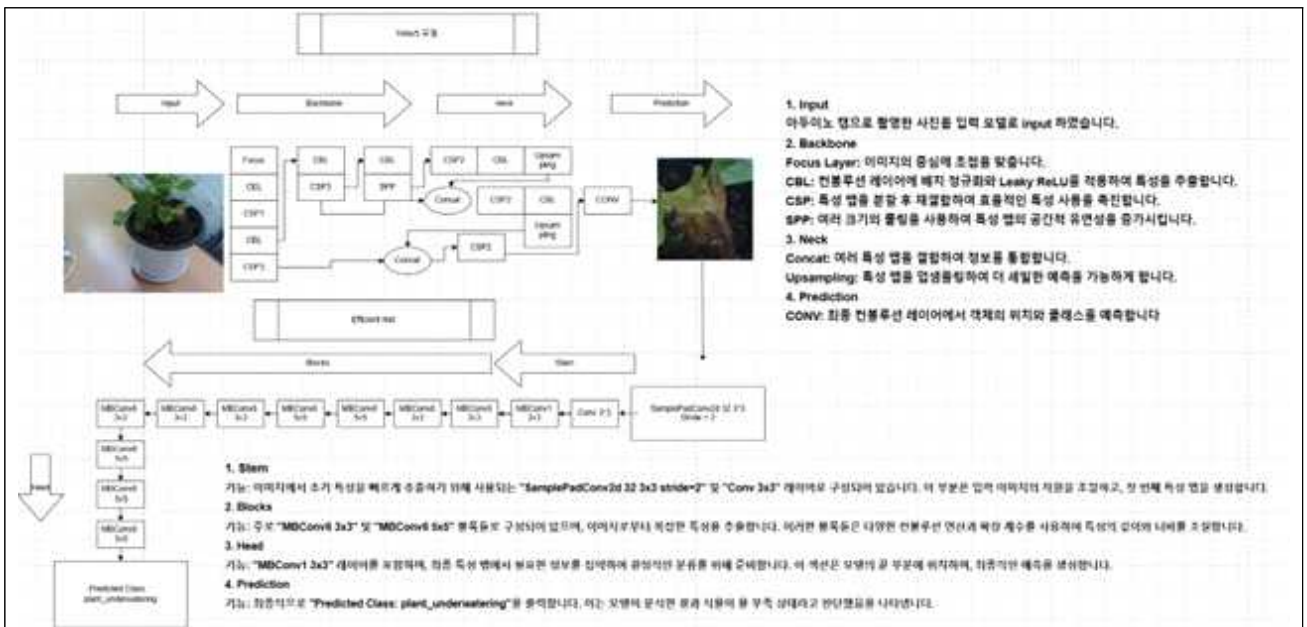
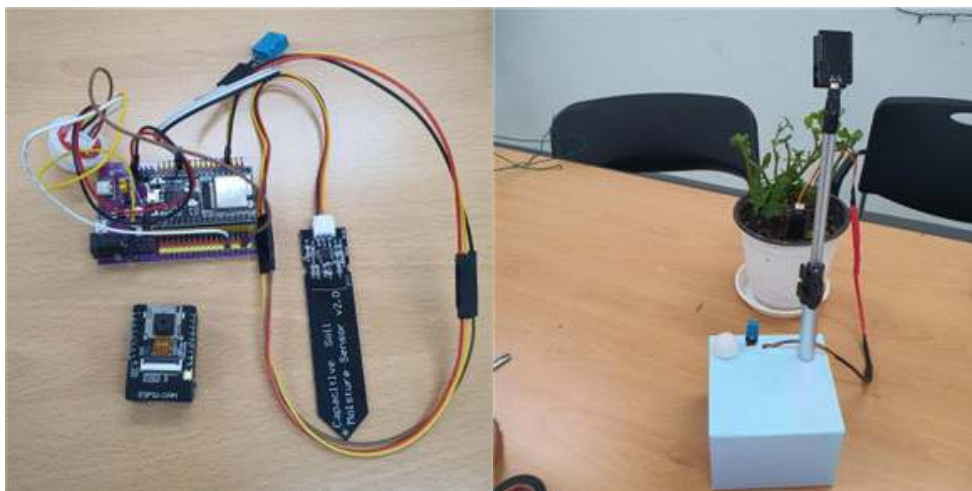


Figure 5: AI 기반 식물 질병 진단 모델의 구조도

아두이노 카메라(식물 전체 사진) → YOLOv5(단일 잎 탐지) → EfficientNet-B0(질병 분류)로 파이프라인을 설계하여 구현하였다. 이를 통해 전체 사진에서도 단일 잎의 질병 상태를 정확히 분류할 수 있는 시스템을 구축하였다.

YOLOv5와 EfficientNet-B0 모두 모델이 식물의 건강 상태를 매우 효과적으로 분류하고 있음을 학습, 테스트 결과를 통해 알 수 있다. YOLOv5 모델에서는 더 넓은 범주에서의 성능을, EfficientNet-B0 모델은 보다 상세한 질병 분류에서의 성능을 강조하며, 두 모델 모두 높은 정확도와 신뢰성을 나타내고 있다. 이러한 결과는 모델이 식물 질병 진단을 위한 도구로 사용될 수 있음을 보여준다.

5) 아두이노 센서 통합 식물 관리 키트 개발

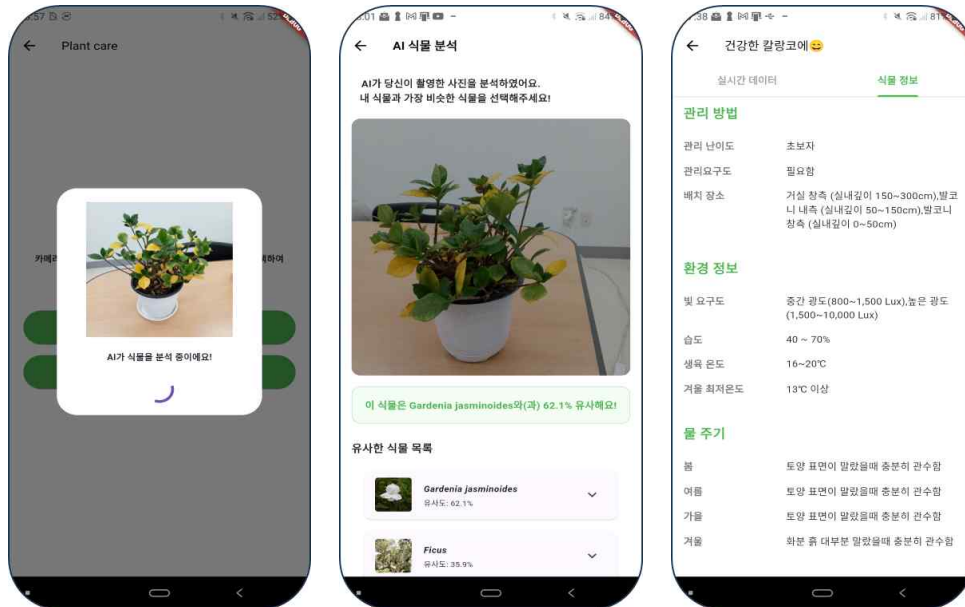


5.1) 키트 구성 및 개발

ESP32 보드를 기반으로 BH1750 조도 센서, SEN0193 토양 습도 센서, DHT11 온습도 센서를 활용한 IoT 식물 관리 키트를 개발하였다. 각 센서는 조도, 토양 수분, 온도, 습도 데이터를 5초 간격으로 수집하여 Firebase에 저장하며, 실시간으로 식물의 생육 환경을 모니터링한다.

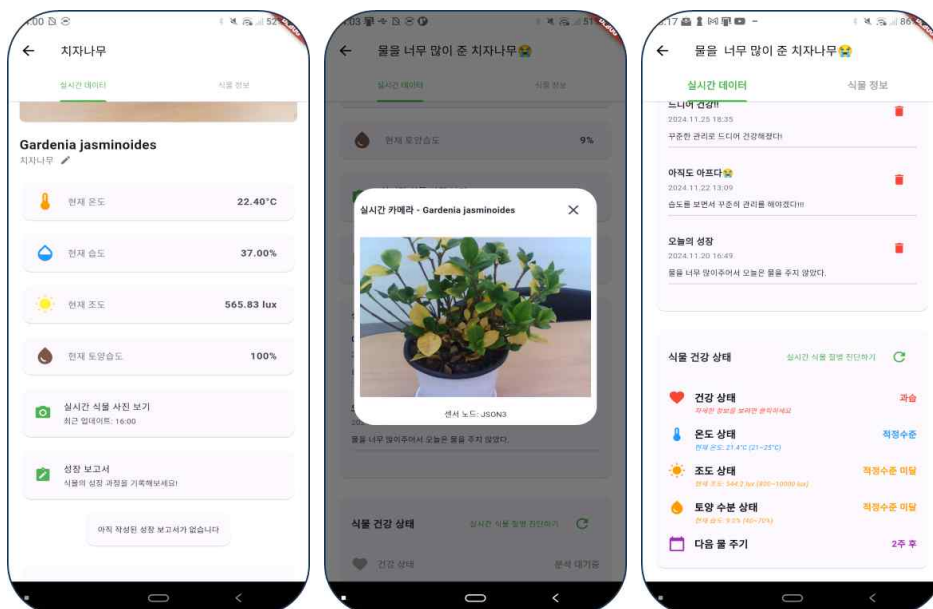
또한, ESP32-CAM을 통해 30초 간격으로 고해상도 이미지를 촬영하여 식물의 상태를 시각적으로 확인하고, 병든 잎을 식별해 신속한 대응이 가능하도록 지원한다. 길이 조절이 가능한 봉을 활용하여 ESP32-CAM을 설치하였으며, 식물의 크기에 따라 높이를 조절할 수 있어 다양한 크기의 식물에서 사용 가능하다.

6) AI 기반 스마트 식물 관리 시스템 개발 결과(Mobile Application)



6.1) 식물 등록 및 AI 분석

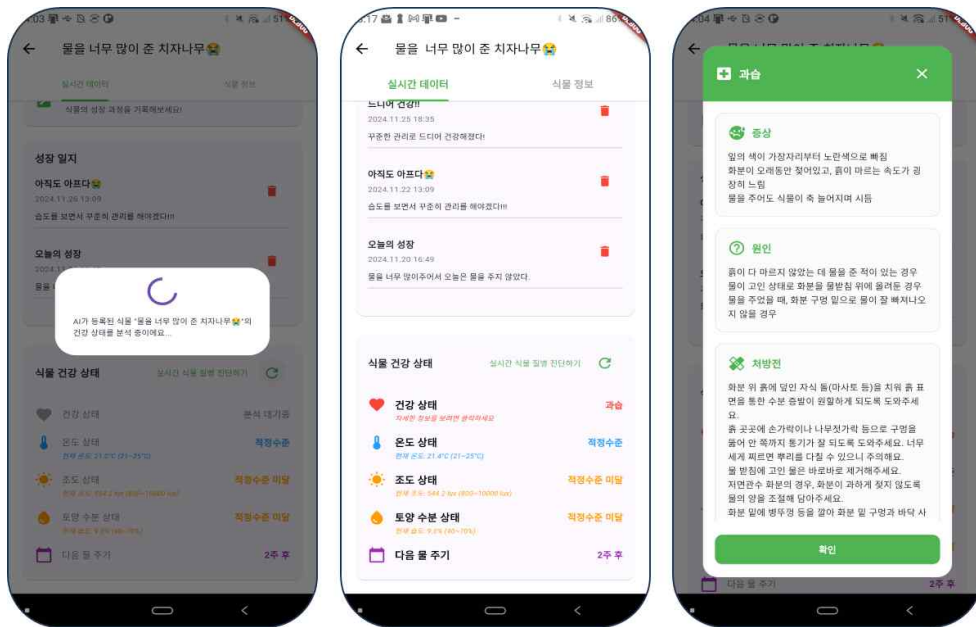
사용자는 스마트폰 카메라로 식물 사진을 촬영하거나 갤러리에서 이미지를 선택하여 식물을 등록할 수 있다. 등록된 식물 사진은 AI 기반 분석을 통해 식물의 종류를 예측하고 해당 식물의 맞춤 관리 정보를 제공한다.



6.2) 실시간 데이터 모니터링 및 관리

아두이노 키트를 연결하면 온도, 습도, 조도, 토양 습도 센서를 통해 실시간으로 식물의 생육 환경 데이터를 수집한다. 앱을 통해 온도, 습도, 조도 등 식물의 현재 상태를 한눈에

확인할 수 있다. ESP32-CAM을 통해 실시간으로 식물 이미지를 촬영하여 사용자가 식물의 상태를 CCTV처럼 실시간으로 확인할 수 있다. 센서 데이터를 기반으로 식물의 현재 상태를 분석하여 사용자가 조치해야 할 항목(물주기, 조명 조정 등)을 제공한다.



6.3) AI로 식물 질병 진단

아두이노 ESP32-CAM으로 촬영한 이미지를 YOLOv5 + EfficientNet-B0 결합된 AI가 실시간으로 식물의 잎을 분석하여 자동으로 건강 또는 질병 상태를 업데이트 한다. 질병 진단 이후 질병이 나타나면 해당 질병의 증상과 원인, 해당 질병에 적합한 처방전을 제공한다.

활용 방안 및 기대효과

IoT 센서 키트와 AI를 통합한 식물 관리 시스템은 반려식물을 키우는 초보자와 지속적인 식물 관리가 어려운 바쁜 현대인을 주요 대상으로 한다. 무료 버전에서는 기본적인 식물 관리 정보와 간단한 질병 진단을 제공하며, 이후 추가적인 기능 개발을 통해 프리미엄 버전에서는 상세한 병명과 치료법, 전문가 상담, 맞춤형 관리 정보 등 고급 기능을 제공한다. 수익은 하드웨어 판매, 앱 구독료, 앱 내 스토어 운영을 통해 창출할 계획이며, 스토어에서는 화분, 실내 식물, 관리 도구 등을 판매한다. 게이미피케이션 요소와 보상 시스템은 사용자들에게 관리의 재미를 더하고, 지속적인 참여를 독려하여 반려식물에 대한 책임감을 강화한다.

AI와 IoT 기술의 결합으로 식물 상태를 실시간 모니터링하고, 질병을 조기에 발견하여 적절한 조치를 취할 수 있도록 도와준다. 이 시스템은 가정, 사무실, 공공기관 등 다양한 환경에서 활용 가능하며, 사용자들에게 효율적인 식물 관리와 정서적 안정감, 공기질 개선 등 부가적인 가치를 제공한다.

빠르게 성장하는 반려식물 시장에서 차별화된 AI 기술을 통해 시장 경쟁력을 확보하고, 데이터 기반의 개인화된 관리 방법을 추천하여 사용자들의 식물 관리 성공률을 높이며 삶의 질 향상을 기대할 수 있다.