

스마트팜 교재 — 나만의 식물 탐구실

센서로 재고 조건에 따라 움직이는 화분을 만들고, 폰 · 구글 시트 · 디지털 트윈으로 다룬 뒤, 그것으로 진짜 식물 탐구 실험을 합니다. [다른 교재 보기](#)

목차

1. 이 교재로 하는 일 · 어떤 펌웨어를 쓰나
2. 스마트팜 알아보기
3. 만들기 — 준비물과 배선 · 2차시
4. 펌웨어 올리기 — VS Code + PlatformIO · 30~40분
5. 1단계 폰으로 조작하기 (SmartFarm_Local) · 30분
6. 2단계 구글 시트에 기록하기 · 40분
7. 3단계 디지털 트윈으로 보고 움직이기 · 30분
8. 더 하기 — 식물 관찰 카메라
9. 탐구 실험실 · 2~3주
10. 안 될 때
11. 부록 A. AI에게 물어보기
12. 부록 B. 더 보고 싶을 때

이 교재로 하는 일

스마트팜 보드에는 **펌웨어**(보드에 올리는 프로그램)를 하나 올려 씁니다. 배선은 거의 같고, **펌웨어만 바꿔 올리면 기능이 바뀝니다**. 이 교재는 세 단계로 올라갑니다.

단계	올릴 펌웨어	할 수 있는 것	필요한 것
<u>1단계</u>	SmartFarm_Local	보드가 Wi-Fi를 만들고 폰으로 바로 조작 . 자동 급수 · 스케줄 · 토양 보정	폰 하나 (인터넷 · 계정 필요 없음)

2단계 ·
3단계

SmartFarm_PlantCare_
Sheets_digital_twin

측정값이 구글 시트에 자동으로 쌓이고, 3D
디지털 트윈으로 어디서든 보고 움직인다

인터넷 Wi-Fi, 구글
시트(선생님이 한 번
준비)

처음이라 뭘 골라야 할지 모르겠으면

1단계(Local)부터 하세요. 공유기도 구글 계정도 필요 없습니다. 보드에 올리고 폰으로 접속하면 그 자리에서 램프가 켜집니다. "된다"는 경험을 가장 빨리 얻는 길입니다.

펌웨어는 한 번에 하나만

보드에는 마지막에 올린 펌웨어 하나만 삽니다. 2단계 펌웨어를 올리면 1단계의 폰 화면은 사라집니다(다시 올리면 돌아옵니다).

다른 펌웨어(음성 조작 PlantCare, 가슴기가 달린 PlantLamp, 사진 로거 PlantCam)는 [부록 B](#)에서 찾아보세요.

교재 속 화면 그림에 대해

폰 화면과 디지털 트윈 화면은 프로그램을 실제로 실행해 찍었습니다. 보드가 없는 상태라 숫자(온도 24.6도 등)는 그려 넣은 값입니다.

스마트팜 알아보기



지능형 스마트팜 (photo_farm_overview.png)

스마트팜은 "센서로 재고, 조건에 따라 장치를 움직이는 화분"입니다. 뼈대는 네 가지입니다.

역할	부품	하는 일
감각	DHT11, 토양 수분 센서, PIR	온도 · 습도 · 흙의 물기 · 사람 움직임을 잴다
판단	ESP8266 보드(D1 mini)	"흙이 마르면 물을 준다" 같은 규칙을 실행한다
행동	릴레이 + 램프 · 펌프	생장등을 켜고 물을 준다
표시 · 기록	OLED, 구글 시트, 디지털 트윈	지금 상태를 보여 주고 역사를 남긴다

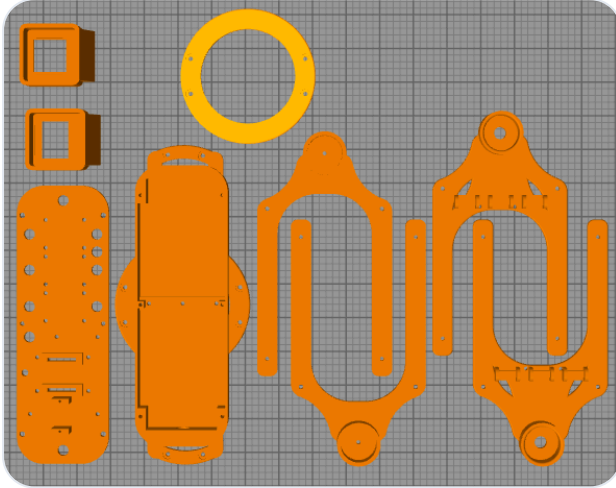
관점 바꾸기

스마트팜은 "식물을 편하게 키우는 기계"가 아니라 **"조건을 정확히 통제하고 결과를 빠짐없이 기록하는 실험 장치"**입니다. 과학 실험에서 가장 힘든 두 가지 — 변인 통제와 성실한 기록 — 를 기계가 대신해 줍니다.

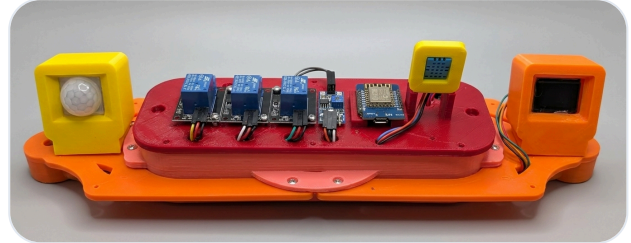
램프를 매일 같은 시각에 켜고, 10분마다 밤에도 주말에도 측정해 남깁니다.

만들기 — 준비물과 배선

시간 2차시 · 이번에 하는 일 부품을 확인하고, 부품 하나씩 보드에 연결한다. **하나 연결 → 확인 → 다음 부품** 순서로 갑니다.



스마트팜 구조물 3D 출력물 (photo_farm_print.png)



전자 부품의 종류와 기능이 보이도록 노출형으로 만들었습니다
(photo_farm_parts.png)

(가) 준비물

부품	수량	확인할 것
ESP8266 D1 mini	1	USB 케이블은 데이터 겸용 (충전 전용은 안 된다)
OLED 0.96인치	1	핀 4개(VCC · GND · SCL · SDA)
DHT11 온 · 습도 센서	1	기판에 붙은 3핀 모듈형이 편하다
토양 수분 센서	1	탐침 + 변환 기판. 기판의 AO 와 DO 표기 확인
PIR 동작 감지 센서	1	반구 모양, 3핀
릴레이 모듈 (2채널 이상)	1	IN1 · IN2 표기
USB 램프(생장등) · 수중 펌프 + 호스	각 1	5V USB 타입이 안전하다
경고 LED + 220Ω 저항, 점퍼선, 5V 어댑터	넉넉히	어댑터는 1A 이상

(나) 핀 지도 — 모든 펌웨어가 같은 배선을 씁니다

부품	부품 쪽	D1 mini 핀	전원

DHT11	DATA	D7	VCC → 3V3, GND → G
토양 수분 센서	AO	A0	VCC → 3V3, GND → G
PIR	OUT	D0	VCC → 5V, GND → G
OLED	SCL · SDA	D1 · D2	VCC → 3V3, GND → G
릴레이	IN1 (램프) · IN2 (펌프)	D6 · D4	VCC → 5V, GND → G
경고 LED	긴 다리 → 220Ω	D8	짧은 다리 → G

배선 실수 1위 — AO 와 DO

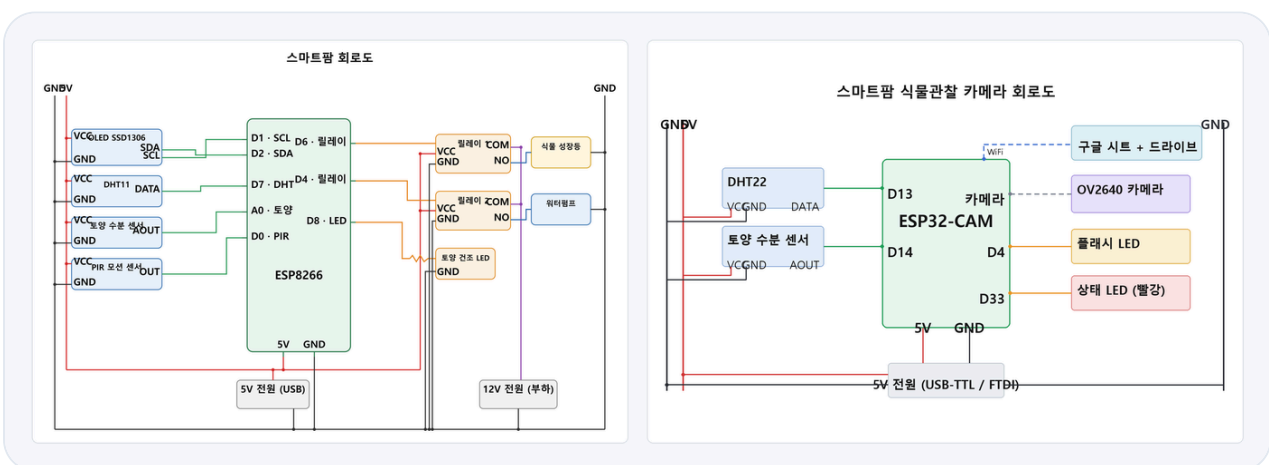
토양 센서 변환 기판의 **AO**를 A0에 꽂습니다. AO는 물기 정도를 숫자(0~1023)로 주고, DO는 "말랐다 / 안 말랐다"만 줍니다. DO에 꽂으면 %가 안 나옵니다.

D 번호와 GPIO 번호는 다릅니다

보드에 적힌 것은 D7 같은 D 번호이고, 코드에는 GPIO 번호(D7 = 13)가 적혀 있습니다. 헷갈리면 위 표의 D 번호대로 꽂으세요.

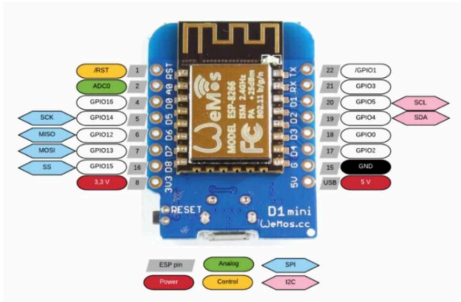
(다) 릴레이 — 램프와 펌프의 스위치

릴레이는 "전기 스위치"입니다. 보드의 작은 신호로 램프 · 펌프의 큰 전류를 끊고 있습니다. 램프 · 펌프의 전원선(+선)을 잘라 릴레이의 **COM**과 **NO** 단자에 물립니다. NO(Normally Open)는 "평소 끊김, 신호가 오면 붙음"입니다.



ESP8266 · 릴레이 · 센서 배선 (photo_farm_wiring.png)

스마트팜 배선도



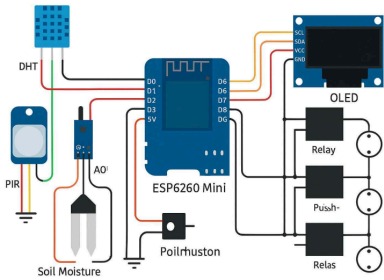
ESP8266 (NodeMCU 또는 유사한 보드)

핵심 하드웨어 구성 요소 및 핀 연결

부품	역할	핀 번호 (ESP8266)	설명
DHT11	온습도 측정	D7 (GPIO13)	DHTPIN으로 정의됨
PIR 센서	움직임 감지	D0 (GPIO16)	pir 입력용
토양 습도 센서	아날로그 입력	A0	sensorPin
릴레이 1	조명 제어	D6 (GPIO12)	RelayPin1
릴레이 2	가습기 제어	D3 (GPIO0)	RelayPin2
릴레이 3	펌프 제어	D4 (GPIO2)	RelayPin3
토양 수분 경고 LED	시각 경고	D8	3% 미만 시 점등
OLED (SSD1306)	시각 출력	I2C (SDA: D2 / SCL: D1)	Wire 라이브러리 사용
WiFi	통신	ESP8266 내부	WiFiManager 사용
SinricPro	클라우드 연동	ESP8266 내부	앱 제어

전체 배선도 1 (diagram_wiring_1.png)

배선도



- ESP8266
- └ D0 (GPIO16) ──> PIR 센서 (OUT 핀)
 - └ D3 (GPIO0) ──> 릴레이 2 (가습기 제어)
 - └ D4 (GPIO2) ──> 릴레이 3 (펌프 제어)
 - └ D6 (GPIO12) ──> 릴레이 1 (조명 제어)
 - └ D8 (GPIO15) ──> 경고용 LED
 - └ A0 ──> 토양 수분 센서 (AO 핀)
 - └ D13 (GPIO13) ──> DHT11 (DATA 핀)
 - └ D1 (GPIO5) ──> OLED SCL
 - └ D2 (GPIO4) ──> OLED SDA
 - └ 3.3V / GND ──> 공통 전원

전체 배선도 2 (diagram_wiring_2.png)

(라) 첫 전원 점검

USB로 보드를 노트북에 연결합니다. 보드의 파란 LED가 잠깐 깜빡이고 릴레이 모듈의 전원 LED가 켜지면 정상입니다. 펌웨어가 없으면 OLED는 꺼져 있는 것이 정상입니다.

증상	원인	해결
보드 LED가 아예 안 켜진다	충전 전용 케이블	데이터 겸용 케이블로 바꾼다
릴레이가 계속 딸깍거린다	IN 핀이 빠져 신호가 떠 있다	IN1 · IN2 배선 확인
탄 냄새	합선	즉시 USB를 뽑고 VCC · GND가 뒤바뀌지 않았는지 확인

펌웨어 올리기 — VS Code + PlatformIO

시간 처음이면 30~40분 · 이번에 하는 일 펌웨어를 보드에 올리는 도구를 갖추고 첫 업로드에 성공한다.

이 프로젝트는 **VS Code + PlatformIO**만 씁니다. 폴더마다 들어 있는 `platformio.ini` 가 보드 종류와 라이브러리를 알아서 챙겨 주므로, 라이브러리를 하나하나 설치할 필요가 없습니다.

(가) 설치 (컴퓨터에 한 번)

- 1 `code.visualstudio.com` 에서 VS Code를 설치합니다.
- 2 VS Code 왼쪽 **확장(Extensions)** → `PlatformIO IDE` 검색 → **Install**. 설치 뒤 VS Code를 껐다 켵니다. 왼쪽에 외계인 얼굴 아이콘이 생기면 성공입니다.

(나) 폴더 열고 올리기

- 1 VS Code 메뉴 **파일** → **폴더 열기**로 펌웨어 폴더 하나만 엽니다(Program 전체를 열면 헤맬니다).

```
D:\data\study\AI\Fab-Lab\SmartFarm\Program\SmartFarm_Local
```

처음 열면 라이브러리를 내려받느라 몇 분 걸립니다. 아래 상태줄이 멈출 때까지 기다립니다.

- 2 보드를 USB로 연결하고 아래 상태줄의 **화살표(→) = Upload**를 누릅니다. `[SUCCESS]` 가 뜨면 완료입니다.
- 3 상태줄의 **플러그 아이콘 = Serial Monitor**로 보드가 하는 말을 봅니다. 속도는 **9600**. 보드의 RST 단추를 누르면 처음부터 보입니다.

증상	원인	해결
<code>could not open port</code>	포트를 못 찾음	케이블 교체 → 장치 관리자에 COM 포트가 보이는지 → CH340 드라이버
시리얼 글자가 깨진다	속도가 다르다	모니터 속도를 9600으로
<code>espcomm_upload_mem failed</code>	업로드 중 접촉 불량	케이블을 다시 꽂고, USB 허브 대신 노트북 본체 포트로

1단계 — 폰으로 조작하기 (SmartFarm_Local)

시간 30분 · 이번에 하는 일 인터넷 없이, 보드가 스스로 만든 Wi-Fi에 폰을 연결해 램프 · 펌프를 조작하고 자동 급수 규칙을 만든다.

(가) 올리기

앞 단원대로 `Program\SmartFarm_Local` 폴더를 열고 Upload. 한 교실에서 여러 보드를 쓰면 코드 위쪽 `#define AP_NUMBER 16` 의 숫자를 **모둠 번호**로 바꿔 올립니다. 그래야 폰 목록에서 내 보드를 구별합니다.

(나) 폰으로 접속한다

- 1 폰의 Wi-Fi 목록에서 `SmartFarm_AP(16)` (괄호 안은 보드 번호)에 접속합니다. 비밀번호는 `12345678`.
- 2 "인터넷이 연결되어 있지 않음"이 떠도 **연결 유지**를 누릅니다(원래 인터넷이 없는 Wi-Fi입니다).
- 3 폰 브라우저 주소창에 `192.168.4.1` 을 입력합니다.

(다) 화면 둘러보기

폰에 뜨는 「식물 탐구실」 화면 (screen_local_phone.png)

칸	하는 일
성장 환경	온도 · 습도 · 토양 % · 토양 raw · PIR. 2초마다 새로 고침
토양 보정	마른 흙 · 젖은 흙의 raw 값을 [지금값] 으로 담아 저장
식물 성장등	ON / OFF, 몇 시간 몇 분 뒤 꺼질지
일일 스케줄	매일 켜고 끌 시각
급수	ON 을 누르면 5초 급수(과습 방지)
급수 스케줄	정한 시각마다 5초 급수(최대 8개)
자동 급수	토양이 몇 % 미만이면 급수, 쿨다운 몇 분

처음이라 막막하면

성장등 **ON** 하나만 눌러 보세요. "딸깍" 릴레이 소리와 함께 램프가 켜지면 폰 → Wi-Fi → 보드 → 릴레이 → 램프로 신호가 간 것입니다. 오늘의 성공은 이것으로 충분합니다.

(라) 토양 보정 — 센서에게 "마름"을 가르친다

1 탐침을 **마른 흙**에 꽂고 1분 기다린 뒤 마름 칸의 **지금값**.

2 물을 흠뻑 준 흙에 꽂고 1분 뒤 젖음 칸의 **지금값** → **저장**.

센서는 마를수록 큰 숫자(raw)를 줍니다. 보드는 "마름 raw = 0%, 젖음 raw = 100%"로 계산하므로 **보정이 틀리면 자동 급수 전체가 틀립니다.**

(마) 자동 급수 규칙 만들기

자동 급수를 켜고 "토양 30% 미만이면 급수, 쿨다운 30분"처럼 정합니다. 탐침을 흙에서 뽑아 보세요(마름). 펌프가 저절로 돕니다.

쿨다운은 왜 필요할까

물이 흙에 스며드는 데는 시간이 걸립니다. 그 사이 센서가 계속 "마름"이라고 하면 펌프가 쉬지 않고 돌아 화분이 잠깁니다. 그래서 한 번 물을 준 뒤 정해진 시간은 다시 주지 않습니다.

안 될 때

증상	원인	해결
Wi-Fi 목록에 SmartFarm_AP가 없다	펌웨어가 안 올라갔거나 부팅 실패	시리얼 모니터에서 부팅 글 확인, RST로 다시 켜기
192.168.4.1 이 안 열린다	폰이 모바일 데이터로 우회	폰의 모바일 데이터를 잠시 끄고 다시
토양이 항상 0%	AO · DO를 바꿔 꽂았다 · 보정이 틀림	AO를 A0에, 보정을 다시
램프 단추를 눌러도 무반응	릴레이 IN1 배선	D6 연결 확인. "딸깍" 소리로 릴레이 · 램프 중 어디 문제인지 가린다

2단계 — 구글 시트에 기록하기

시간 40분 · 이번에는 하는 일 측정값이 10분마다 구글 시트에 쌓이게 하고, 시트의 탭들을 읽는다. 이때부터 스마트팜은 "실험 장치"가 됩니다.

올릴 펌웨어는 `Program\SmartFarm_PlantCare_Sheets_digital_twin` 입니다. 하드웨어는 그대로이고 펌웨어만 바꿔 올립니다. 이 펌웨어는 3단계 디지털 트윈과 한 몸으로 동작하는 **최종 권장판**입니다.

(가) 시트의 접속창구 만들기 — 선생님이 한 번

보드는 구글 시트에 직접 쓸 수 없습니다. 중간에 **Apps Script 웹앱**(접수창구)을 만들어, 보드가 그 주소로 보내면 스크립트가 시트에 적어 줍니다. 구글 계정이 걸린 일이라 보통 **선생님이 학기에 한 번** 해 둡니다.

1. `script.google.com` → 새 프로젝트 → `Code.gs` 를 지우고 펌웨어 폴더의 `apps_script\Code.gs` 내용을 통째로 붙여 넣습니다.
2. 배포 → 새 배포 → 웹앱. 실행 계정 **나**, 액세스 **모든 사용자**(틀리면 보드가 401/403 오류를 받습니다).
3. 발급된 `/exec` 주소 뒤에 `?sts=ping` 을 붙여 열어 `{"ok":true,...}` 가 보이면 성공입니다.

코드를 고쳐 다시 배포할 때

"새 배포"를 다시 누르면 주소가 바뀝니다. 배포 관리 → 연필 → 새 버전 → 배포로 하면 같은 주소가 유지됩니다.

(나) 보드에 올리기

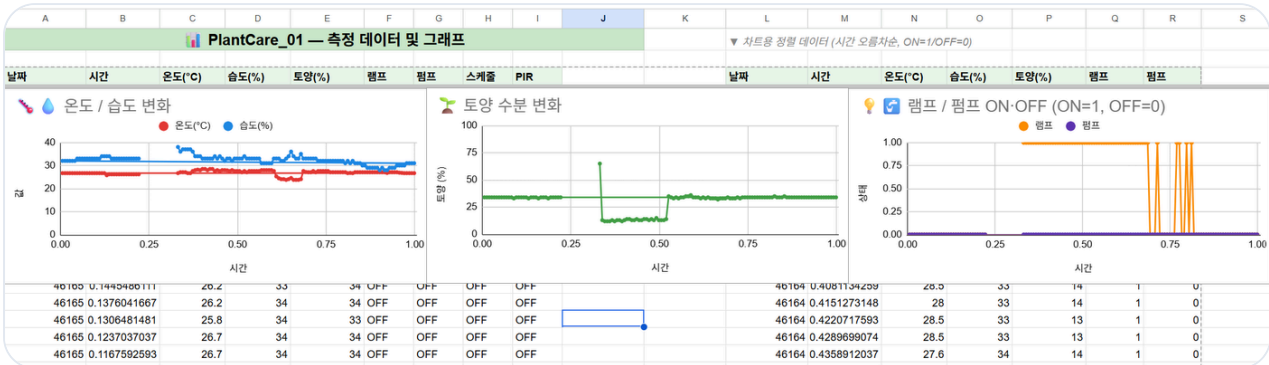
펌웨어 위쪽 `WEB_APP_URL` 에 접속창구 주소가 들어 있는지 확인하고 Upload. 처음 켜면 보드가 `SmartFarm_PlantCare_AP1` (비밀번호 `12345678`)이라는 Wi-Fi를 만들어 기다립니다. 폰으로 접속하면 뜨는 화면에서 **교실 공유기 이름과 비밀번호**를 넣어 주면, 다음부터는 저절로 그 공유기에 붙습니다.

시리얼 모니터에 `[WiFi] connected` 와 `[Cmd] applied ...` 가 보이면 정상입니다.

(다) 시트의 탭 읽기

탭	무엇이 쌓이나 · 무엇을 하나
Environment_Log	10분마다 한 줄 — 날짜 · 시간 · 온도 · 습도 · 토양 · 램프 · 펌프 · 스케줄 · PIR
Event_Log	램프 · 펌프가 켜지고 꺼지는 순간마다 한 줄 . "왜"(스케줄 · 사람 감지 · 자동 급수)까지 남는다
토양 보정	D열(최근 raw)을 보고 B열(마름) · C열(젖음)에 적으면 보드가 받아 저장

원격 제어	램프 · 펌프 · 스케줄을 -1 자동 / 0 끄기 / 1 켜기. 바꿀 때마다 명령순번 +1
펌프 스케줄	06:30, 12:00, 18:30 처럼 적으면 그 시각마다 5초 급수(최대 8개)



구글 시트에 쌓인 환경 데이터 그래프 (photo_sheet_graph.png)

(라) 첫 그래프 그리기

1 Environment_Log에서 시간 · 온도 열을 드래그로 고릅니다.

2 삽입 → 차트 → 선 차트. 습도 · 토양 열도 더해 겹쳐 봅니다.

읽기 연습 — 온도 선이 낮에 솟고 밤에 가라앉습니까? 램프가 ON인 구간과 온도가 오르는 구간이 겹칩니까? 펌프가 돈 직후 토양 %가 몇 % 됩니까? 이 세 가지만 읽어도 데이터가 이야기로 바뀝니다.

(마) 시트로 토양 보정하기

A	B	C	D	E	F	G
토양 습도 센서 보정					★ 사용법	
장치	마름 raw	젖음 raw	최근 raw (자동)	업데이트 (자동)	1) 센서를 마름 흙에 꽂고 2~3분 대기	
PlantCare_01	1023	300	781	2026-06-06 15:43:24	2) D열(최근 raw)에 값이 갱신되면 그 값을 B열(마름)에 입력	
					3) 센서를 물에 푹 적신 흙에 꽂고 2~3분 대기	
					4) D열에 새 값이 갱신되면 그 값을 C열(젖음)에 입력	
					5) 다음 측정 사이클(최대 10분)에 ESP가 자동으로 보정값을 받아감	
					※ 기본값: 마름 850 / 젖음 300 (대부분 환경에서 그대로 OK)	
					※ B열 == C열이거나 범위 밖이면 무시되고 기본값 사용	
					※ raw 값은 0~1023 범위 (ESP8266 10-bit ADC, A0 핀)	
					※ PlantCam(ESP32)은 0~4095라 raw 값 범위가 다름 — 혼동 주의	

구글 시트를 활용한 토양 습도 센서 보정 (photo_sheet_calibration.png)

1. 센서를 **마름 흙**에 꽂고 2~3분 뒤, 토양 보정 탭 D열의 값을 B열(마름)에 적습니다.
2. 물을 **흠뻑 준 흙**에 꽂고 2~3분 뒤, D열의 새 값을 C열(젖음)에 적습니다.
3. 10분 안에 보드가 받아 저장합니다. 1024가 나왔다면 **1023**으로 적습니다(허용 범위 0~1023).

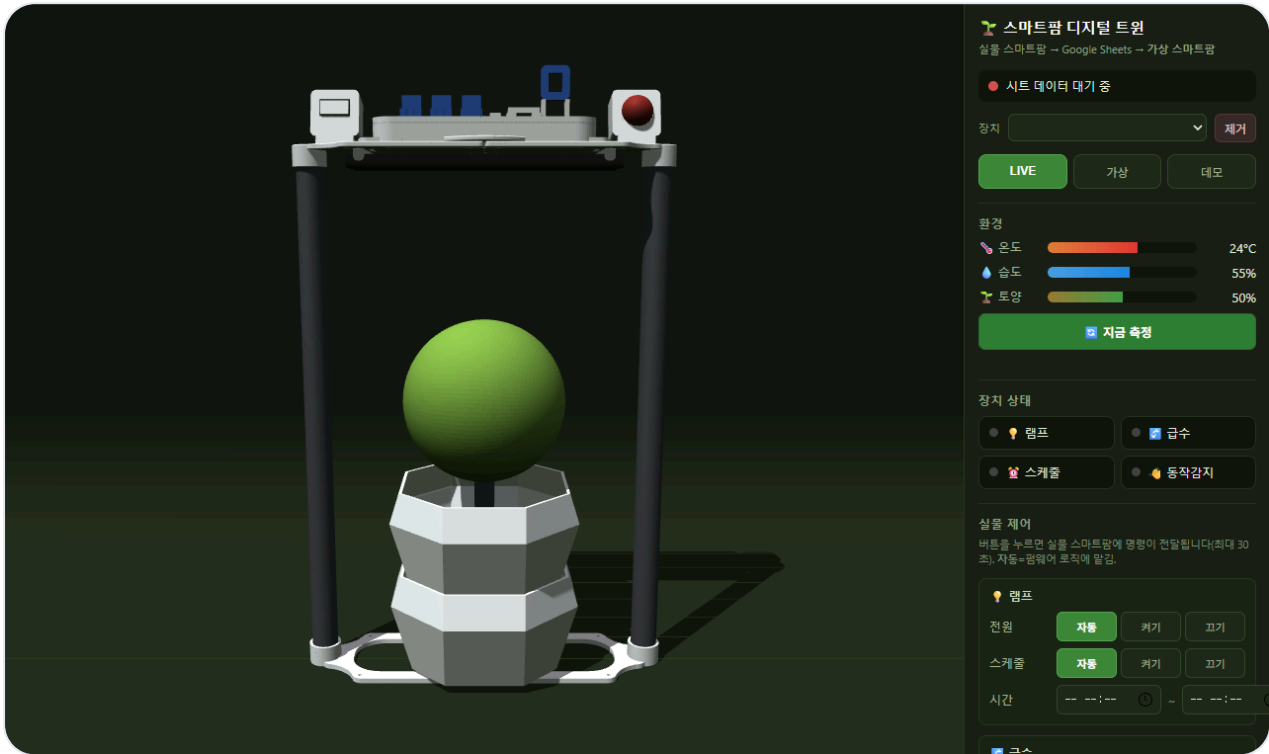
안 될 때

증상	원인	해결
----	----	----

시트에 아무것도 안 쌓인다	주소가 틀림	<code>?sts=ping</code> 으로 주소부터 확인
<code>HTTP 401 / 403</code>	배포 액세스 설정	"모든 사용자"로 다시 배포
<code>HTTP -11</code> 이 가끔	구글 응답이 늦음	스스로 다시 시도한다. 무시해도 된다
토양 %가 늘 0	마름 값(B열)이 실제보다 낮다	실측 raw로 B열을 올린다
스케줄대로 안 꺼진다	원격 제어 탭에 1이나 0이 남아 있다	-1(자동)로 돌리고 명령순번 +1

3단계 — 디지털 트윈으로 보고 움직이기

시간 30분 · 이번에 하는 일 화면 속 3D 스마트팜이 실물 상태를 그대로 보여 주게 하고, 화면에서 실물 램프 · 펌프를 움직인다.



스마트팜 디지털 트윈. 램프가 켜지면 생장등이 빛나고, 토양 %에 따라 식물 색이 갈색 ↔ 초록으로 바뀝니다. 오른쪽은 환경 게이지와 실물 제어판 (screen_twin.png)

(가) 실행한다

D:\data\study\AI\Fab-Lab\SmartFarm\Program\digital_twin → 디지털트윈_실행.bat 더블클릭

검은 창(서버)이 뜨고 브라우저가 열립니다(<http://127.0.0.1:8138>). 검은 창을 닫으면 트윈도 꺼집니다 — 최소화만 하세요. 시트 없이 구경만 하려면 디지털트윈_뷰어만.bat을 씁니다.

(나) 세 가지 모드

모드	무엇	언제
LIVE	시트의 실제 측정값을 재현 + 실물 제어판	평소
가상	막대로 값을 직접 바꿔 보기(실물 영향 없음)	발표 연습, 원리 이해
데모	하루 주기를 저절로 시연	전시 · 소개

마우스 — 끌기 = 회전, 휠 = 확대, 오른쪽 끌기 = 이동.

(다) 화면에서 실물을 움직인다

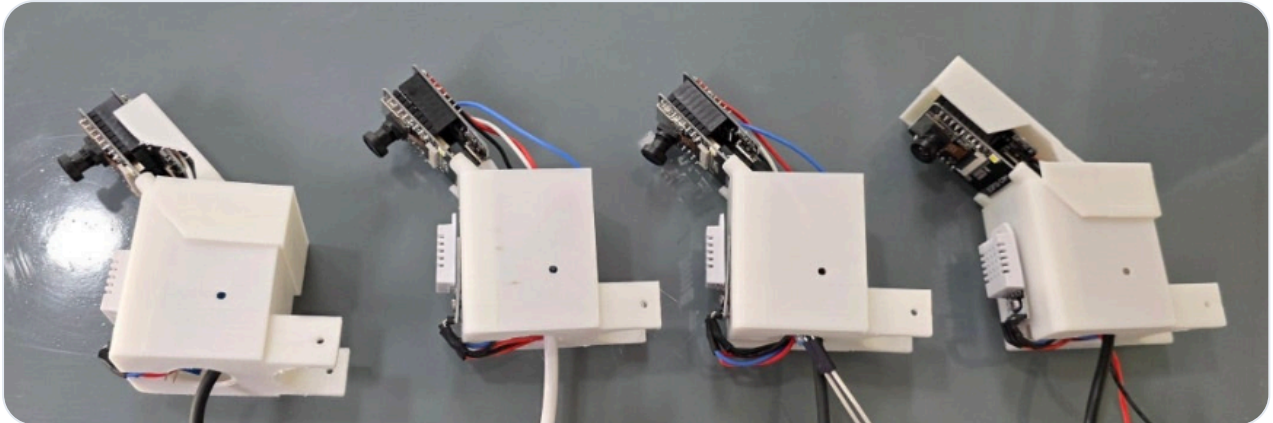
- 1 LIVE의 실물 제어판에서 램프 **켜기**. 화면 속 생장등이 먼저 빛나고, 몇 초~수십 초 안에 실물 램프가 켜지며 "실물 적용됨"으로 바뀝니다.
- 2 **자동** 을 누르면 보드의 스케줄 · 사람 감지 규칙으로 돌아갑니다.
- 3 펌프 **켜기** 는 **5초 뒤 저절로 꺼집니다**(실수로 켜 두어도 화분이 잠기지 않게). 오래 주려면 펌프 스케줄을 씁니다.
- 4 **지금 측정** 을 누르면 10분을 기다리지 않고 **그 순간** 값을 재서 시트에 남깁니다(약 5~15초).

원리 한 조각 — 시트가 리모컨이 된다

트윈은 시트의 "원격 제어" 탭에 명령을 적고 **명령순번**을 1 올립니다. 보드는 5초마다 시트를 확인해 순번이 **바뀌었을 때만 한 번** 반영합니다. 매번 반영하면, 내가 손으로 끈 램프도 5초 만에 다시 켜지기 때문입니다.

상태 줄	뜻
LIVE — PlantCare_01 · 3분 전	정상. 마지막 측정이 3분 전(10분 주기라 0~10분이 정상)
데이터 오래됨 · 1시간 전	15분 넘게 새 기록이 없다 — 실물 전원 · Wi-Fi 확인
연결 안 됨	서버가 시트를 못 읽는다 — 검은 창의 오류 확인

더 하기 — 식물 관찰 카메라 (PlantCam)



식물 성장 관찰 로거 (photo_plantcam.png)

ESP32-CAM 보드가 **정해진 간격(기본 30분)마다 식물 사진을 찍어** 구글 드라이브에 올리고, 같은 시각의 온도 · 습도 · 토양을 시트에 함께 남깁니다. "앞이 처지기 시작한 순간의 환경"을 사진과 숫자로 함께 찾을 수 있습니다. 만드는 법은 [SmartFarm\Program\SmartFarm_PlantCam\설치_안내.md](#) 를 보세요.

탐구 실험실 — 스마트팜으로 하는 진짜 과학

시간 실험마다 1일~3주 · **이번에 하는 일** 가설을 세우고 변인을 통제해 실험하고, 쌓인 데이터에서 패턴을 찾는다.



스마트팜 및 식물 성장 실험 (photo_farm_experiment.png)

(가) 실험의 문법 — 가설과 변인

좋은 가설은 검증할 수 있고, 구체적이고, 근거가 있습니다.

- 나쁜 예 — "빛이 식물에 좋을 것이다." (얼마나? 무엇이?)
- 좋은 예 — "램프를 하루 8시간에서 4시간으로 줄이면, 2주 뒤 새 잎 수가 절반 이하가 될 것이다."

변인	뜻	예 (빛 실험)
조작 변인	내가 일부러 바꾸는 것	램프 켜는 시간
종속 변인	그 결과로 변하는 것	새 잎 수, 줄기 길이
통제 변인	같이 유지해야 하는 것	물 · 흙 · 화분 크기 · 품종 · 위치

스마트팜이 해 주는 것

"물 주는 양 · 시각"과 "빛 시간"은 사람이 지키기 가장 어려운 통제 변인입니다. 펌프 스케줄과 램프 스케줄이 **기계의 정확도로** 지켜 주고, 시트의 기록이 "정말 같게 유지됐는지"의 증거가 됩니다.

(나) 실험 1 — 빛의 양과 성장 (2주)

설계 — 같은 품종 · 흙 · 화분 A와 B. A는 스케줄 06:00~14:00(8시간), B는 06:00~10:00(4시간). 급수는 둘 다 펌프 스케줄 07:00 하나로 통일. 매일 같은 시각에 잎 수 · 키를 적습니다. **분석** — 2주 뒤 잎 수를 비교하고, 시트로

두 화분의 온도 · 습도가 실제로 비슷했는지 확인해 함께 적습니다. 창가 햇빛이 끼어들면 조작 변인이 흐려지니 둘 다 같은 자리에 둡니다.

(다) 실험 2 — 물은 얼마나 빨리 스며드나 (하루)

1. 트윈에서 **지금 측정**으로 급수 전 토양 %를 적습니다.
2. 펌프 **켜기** (5초 급수).
3. 1분 간격으로 **지금 측정**을 8~10번 하며 %를 표에 적고, 시간-% 그래프를 그립니다.

시간(분)	0	1	2	3	4	5	6	7	8
토양 %									

볼 것 — %가 바로 뛰는가, 몇 분 뒤가 가장 높은가, 그 뒤 얼마나 천천히 줄어드는가. 모래가 많은 흙과 부엽토로 반복해 곡선을 비교하면 훌륭한 토양 탐구가 됩니다.

(라) 실험 3 — 급수 횟수와 뿌리 (3주)

A 화분은 펌프 스케줄 07:00 한 번, B 화분은 07:00 · 13:00 · 19:00 세 번(한 번에 주는 양은 A의 3분의 1이 되게 호스를 조절). 3주 뒤 뿌리 사진을 찍어 길이와 퍼짐을 비교합니다. "급수 횟수"를 사람 손 없이 3주 동안 오차 없이 지키는 것이 이 실험의 묘미입니다.

(마) 귀납 탐구 — 일주일 기록에서 패턴 찾기

1. Environment_Log 일주일치의 온도 · 습도 · 토양을 한 그래프에 겹쳐 그립니다. 가설 없이 시작합니다.
2. 눈에 띄는 것을 모두 적습니다 — 매일 되풀이되는 것, 딱 한 번 튔 것, 서로 반대로 움직이는 짝.
3. 튔 지점의 시각을 Event_Log에서 찾아 원인 후보를 적습니다(램프? 펌프? 사람?).
4. 발견 하나를 골라 "왜?"를 가설로 만들면 다음 실험 주제가 됩니다. **귀납에서 연역으로** — 과학이 순환하는 순간입니다.

(바) 실험 기록지

항목	내용
질문	
가설	
조작 변인 · 종속 변인	
통제 변인 (스마트팜이 지킨 것)	
결과 (표 · 그래프)	

결론 · 다음 질문

미술과 함께

식물을 키우며 그 과정을 관찰해 생장을 스케치해 보세요. 숫자(시트)와 그림(관찰화)이 한 탐구 노트에 함께 들어가면, 같은 변화를 두 가지 눈으로 보게 됩니다.

안 될 때 — 증상별 해결 모음

증상	원인	해결
업로드가 안 된다	케이블 · 포트 · 드라이버	데이터 케이블, 장치 관리자의 COM, CH340 드라이버
시리얼 글자가 깨진다	속도	9600
온도 · 습도가 0.0	DHT11 미연결	D7 · 3V3 · G 배선 확인 (시트에도 0이 실측처럼 찍히니 주의)
토양이 늘 0% 또는 100%	AO/DO · 보정	AO를 A0에, 실측으로 보정 다시
펌프가 혼자 돈다	자동 급수 · 토양 센서가 공중에 있음	탐침을 흙에 꽂는다. 시험 중이면 펌프에 물이 연결됐는지 확인
시트 · 트윈이 안 바뀐다	보드 오프라인 · 주소 · 배포	시리얼에서 Wi-Fi 연결 확인, <code>?sts=ping</code> 확인
Wi-Fi를 바꿔야 한다	저장된 공유기 정보	공유기 범위 밖에서 켜면 설정 화면(AP)이 다시 뜬다. 선생님께 요청

부록 A. AI에게 물어보기

막혔을 때는 상황을 다섯 칸으로 적어 물어보면 답이 정확해집니다. 업로드 오류는 오류 글을 통째로 붙여 넣는 것이 가장 빠릅니다.

[환경] ESP8266 D1 mini 스마트팜, 펌웨어 (이름), VS Code + PlatformIO

[목표] (하고 싶은 것)

[상황] (시리얼 모니터 · 화면에 나온 글자를 그대로)

[시도] (이미 해 본 것)

[부탁] 원인과 해결 순서를 알려 주세요. 고친다면 어느 파일의 어느 값인지 짚어 주세요. 전체 코드를 새로 써 주지는 마세요.

[환경] SmartFarm_PlantCare_Sheets_digital_twin 펌웨어, 구글 시트 원격 제어 탭

[목표] 보드가 명령순번(seq)이 바뀔 때만 명령을 반영하는 이유를 알고 싶다

[부탁] 매번 반영하면 어떤 문제가 생기는지, 리모컨에 비유해 설명해 주세요.

AI 답을 믿기 전에

1. 그 펌웨어에 정말 그런 값(상수 이름)이 있는지 파일에서 찾아봅니다.
2. 펌프는 물을 뺀 채, 또는 컵에 담가 먼저 시험합니다.
3. 한 번에 한 곳만 바꿉니다.

부록 B. 더 보고 싶을 때

이 교재는 수업 핵심만 담았습니다. 더 깊이 하고 싶으면 아래 원래 문서를 보세요. 모두 `D:\data\study\AI\Fab-Lab\SmartFarm\` 아래에 있습니다.

예전 교재 묶음(교재모음 · 종합 교재 · 배포 zip)은 `D:\data\study\AI\Fab-Lab\보관\예전교재_2026-10-13` 로 옮겼습니다. 프로그램 폴더 안의 README · 사용설명서는 그대로 있습니다.

알고 싶은 것	문서 · 폴더
모든 펌웨어 · 시트 · 트윈 · 실험을 자세히 (개정 2판)	<code>D:\data\study\AI\Fab-Lab\보관\예전교재_2026-10-13\SmartFarm\교재\스마트팜_교재_v2\스마트팜_교재_종합_v2.html</code>
"알렉사, 램프 켜 줘" 음성 조작	<code>Program\SmartFarm_PlantCare\</code> (위 교재 4-2장)
가습기 · 물통 안전 락까지	<code>Program\SmartFarm_PlantLamp_Sheets_digital_twin\README.md</code>
사진 로거 (ESP32-CAM)	<code>Program\SmartFarm_PlantCam\설치_안내.md</code>
트윈 원리 · 3D 모델	<code>Program\digital_twin\CLAUDE.md</code> · 위 교재 7부
예전 교재 6권 전체 목록	<code>D:\data\study\AI\Fab-Lab\보관\예전교재_2026-10-13\SmartFarm\교재모음\index.html</code>