METAPILOT 4 · THE FLIGHT GEAR MANUAL

메타파일럿

조종장비 편

나만의 조종간 만들기

BUILD YOUR OWN WINGS

"나에게 꼭 맞는 조종간은 세상에 없다.
그래서, 직접 만들어 비행한다."

우아한비행

메타파일럿

조종장비 편

메타파일럿 4권

메타파일럿
조종장비 편

나만의 조종간 만들기 (Build Your Own Wings)

GGsF

메타파일럿 4권 · 조종장비 편
나만의 조종간 만들기 (Build Your Own Wings)

MetaPilot 4: The Flight Gear Manual — GGsF_DiyS

판 r4.4 · Web · 2026년 10월

발행 우아한비행 (GGsF) · metapilots.kr

이 교범은 3D 프린터, 인두기, 전기 부품을 다룹니다. 작업 중 화상·감전·부상의 위험이 있으니 반드시 본문의 안전 수칙을 지키고, 초보자는 무납땜 조립 키트를 사용하고, 어린이는 보호자와 함께 작업하세요. 부품 규격과 판매처는 바뀔 수 있으니 구매 전에 최신 정보를 확인하세요. 이 책의 제작 방법을 따르다 발생한 손해에 대해 발행처는 책임지지 않습니다.

STM32, FreeJoy, Arduino, PlayStation, Flashforge, Bambu Lab, Gumroad, Microsoft Flight Simulator, IL-2 Sturmovik, DCS World 및 기타 제품명은 각 소유자의 상표 또는 명칭입니다.

이 책의 내용을 무단으로 복제·전재할 수 없습니다.

등장인물

정비 교관

티타 (Tita)

메타파일럿 아카데미 정비 교관이자 동네 타이탄 PC방 사장. 카운터에서는 사무적이고 시크하지만, 정비 공방에서는 누구보다 다정한 교관이다. GGsF_DiyS를 설계하고 수많은 훈련생의 첫 조종간을 함께 만들었다. 입버릇은 "천천히 해도 돼요. 대신 대충은 하지 않기로." 첫 조종간을 만들 때 같은 나사를 세 번 잃어버린 적이 있다.

훈련생

훈련생 — 바로 여러분

조종간을 처음 만드는 사람. 궁금한 건 참지 않고 묻는다. 이 책의 "훈련생 질문"은 지금까지 공방을 거쳐 간 훈련생들이 가장 많이 물었던 질문이다.

이 책을 읽는 법

이 책은 조종간을 직접 만드는 **작업 지시서**이자, 정비 교관 티타의 수업입니다. 시즌 1~3 훈련에서 쓴 메타파일럿 표준 훈련 조종간 **GGsF_DiyS**를 처음부터 끝까지 만듭니다.

처음부터 차례대로 따라 하면 됩니다. **STEP 01부터 STEP 36까지** 제작 순서 그대로 놓여 있고, STEP마다 **작업 지시** → **따라 하기** → **훈련생 질문** → **제작 영상** → **점검**이 이어집니다.

책은 **순서와 이유와 안전**을, 영상은 **손의 움직임과 정확한 값**을 맡습니다. 숫자나 설정이 필요한 곳에서는 STEP 카드의 영상을 켜 주세요. 제목이나 QR을 누르면 영상이 열립니다. 영상은 늘 최신으로 고쳐 둡니다.

길이 두 갈래인 곳에는 **[키트 길]**(꽂기만 하면 되는 무납땜 키트)과 **[시장 길]**(부품을 하나씩 사서 납땜) 표시가 있습니다. 실제 제품·프로그램 이름과 자료 받는 곳은 **부록 B**에 모았습니다.

- **Part 0 정비 공방에 들어서다** — 완성품 보기, 길 고르기, 공구, 안전 약속
- **Part 1 뼈대를 세우다** — 3D 프린팅, 짐벌 조립, 스프링 손맛
- **Part 2 신경을 잇다** — 제어 보드, 센서, 버튼, 배선과 납땜, '삐—' 확인
- **Part 3 숨을 불어넣다** — 펌웨어, 설정, 영점, 시즌 1·2·3 기체 연결
- **Part 4 정비하고 길들이다** — 고장 찾기, 소모품, 내 손에 맞게, 자격 테스트

천천히 해도 돼요. 대신 대충은 하지 않기로.

제작 순서 지도

GGsF_DiyS는 이 순서대로 만듭니다. 한 STEP을 끝낼 때마다 표시하며 나아가세요. 같은 영상 코드가 본문의 STEP 카드에도 있습니다. 제목이나 QR을 누르면 제작 영상이 열립니다.

STEP	제작 과정	영상	QR
Part 0 정비 공방에 들어서다			
01	GGsF_DiyS 소개 — 완성품과 제원	4-001	
02	길 고르기 — 키트 길과 시장 길	4-002	
03	공구 준비	4-003	
04	공방의 여섯 가지 안전 약속	4-004	
Part 1 뼈대를 세우다			
05	도면 받기와 슬라이서에 올리기	4-005	
06	출력 설정 — 밀도와 서포트	4-006	
07	첫 층 확인과 출력	4-007	

STEP	제작 과정	영상	QR
08	떼어내기 · 서포트 제거 · 가조립	4-008	
09	2축 짐벌 조립	4-009	
10	나사 조이기와 가운데 맞추기	4-010	
11	마찰과 유격 점검	4-011	
12	스프링 걸기와 손맛 점검	4-012	
Part 2 신경을 잇다			
13	제어 보드와 확장보드 살펴보기	4-013	
14	홀 센서 모듈 달기	4-014	
15	그립에 버튼·스위치 장착	4-015	
16	[키트 길] 커넥터 꽂아 잇기	4-016	
17	납땜 기초	4-017	
18	[시장 길] 버튼·확장보드 납땜	4-018	
19	멀티미터로 ‘삐—’ 확인하기	4-019	

STEP	제작 과정	영상	QR
20	선 정리와 본체 닫기	4-020	
Part 3 숨을 불어넣다			
21	조종간 펌웨어 올리기	4-021	
22	GGsF_DiyS 설정 파일 불러오기	4-022	
23	PC에서 동작 확인	4-023	
24	가운데와 끝 보정	4-024	
25	데드존과 반응 곡선	4-025	
26	시즌 1 기체에 연결하기 — 세스나	4-026	
27	시즌 2 기체에 연결하기 — 2차대전 프로펠러기	4-027	
28	시즌 3 기체에 연결하기 — 제트 전투기	4-028	
Part 4 정비하고 길들이다			
29	증상별 고장 찾기	4-029	
30	윤활과 소모품 교체	4-030	

STEP	제작 과정	영상	QR
31	비상 수리 상자	4-031	
32	버튼 기능과 색 바꾸기	4-032	
33	점토로 그립 개조하기	4-033	
34	러더 페달 GGsF_DiyR 미리보기	4-034	
35	조종석 GGsF-DiyC 미리보기	4-035	
36	엔지니어 자격 테스트	4-036	

차례

PROLOGUE 햇살 드는 정비 공방 ···· 13

Part 0 정비 공방에 들어서다 ···· 15

STEP 01 무엇을 만드는지 먼저 봐요 — GGsF_DiyS ···· 15
STEP 02 길을 골라요 — 키트 길과 시장 길 ···· 16
STEP 03 공구를 갖춰요 ···· 17
STEP 04 공방의 여섯 가지 약속 ···· 18

Part 1 뼈대를 세우다 ···· 21

STEP 05 도면을 받아 슬라이서에 올려요 ···· 21
STEP 06 속을 얼마나 채울까 — 출력 설정 ···· 22
STEP 07 첫 층을 지켜봐요 ···· 23
STEP 08 떼어내고 다듬어요 ···· 25
STEP 09 뼈대를 세워요 — 2축 짐벌 ···· 26
STEP 10 나사를 조이고 가운데를 맞춰요 ···· 27
STEP 11 부드럽게 — 마찰과 헐거움 잡기 ···· 28
STEP 12 손맛을 만들어요 — 스프링 걸기 ···· 29

Part 2 신경을 잇다 ···· 31

STEP 13 두뇌를 만나요 — 제어 보드 ···· 31
STEP 14 닳지 않는 눈 — 홀 센서 달기 ···· 32
STEP 15 그립에 버튼과 스위치를 달아요 ···· 33
STEP 16 [키트 길] 꽂아서 잇기 ···· 34
STEP 17 납땜의 기초 — 동그랗고 반짝이게 ···· 35
STEP 18 [시장 길] 버튼과 확장보드 잇기 ···· 37
STEP 19 삐— 소리로 확인해요 ···· 38
STEP 20 선을 정리하고 뚜껑을 닫아요 ···· 39

Part 3 숨을 불어넣다 ···· 41

STEP 21 조종간 펌웨어를 올려요 ···· 41
STEP 22 설정 파일을 불러와요 ···· 42
STEP 23 숨을 쉬는지 확인해요 ···· 43
STEP 24 가운데와 끝을 알려 줘요 — 영점 보정 ···· 44
STEP 25 손떨림을 받아 주는 쉼터 — 데드존과 반응 곡선 ···· 45
STEP 26 시즌 1 기체에 연결해요 — 세스나 ···· 47

STEP 27 시즌 2 기체에 연결해요 — 2차대전 프로펠러기 · · · · · · · · · · · · · · 48
STEP 28 시즌 3 기체에 연결해요 — 제트 전투기 · 49

Part 4 정비하고 길들이다 · 51
STEP 29 증상으로 원인을 찾아요 · 51
STEP 30 기름칠과 소모품 바꾸기 · 52
STEP 31 비상 수리 상자 · 53
STEP 32 버튼의 일과 색을 바꿔요 · 54
STEP 33 점토로 내 손에 맞는 그립 만들기 · 55
STEP 34 다음 장비 미리보기 — 러더 페달 GGsF_DiyR · · · · · · · · · · · · · · · 57
STEP 35 다음 장비 미리보기 — 조종석 GGsF-DiyC · · · · · · · · · · · · · · · · · · 58
STEP 36 엔지니어 자격 테스트 · 59

에필로그 · 엔지니어 파일럿 · 61

부록 A · 부품표와 연결표 · 63

부록 B · 제품과 자료 안내 · 67

부록 C · 정비 기록부 · 69

엔지니어 자격증 · 71

PROLOGUE

햇살 드는 정비 공방

The Workshop

아카데미 건물 2층, 유리문에 작은 간판이 붙어 있다. 〈**메타파일럿 정비 공방**〉 문을 열자 넓은 테이블 몇 개가 놓인 방이 나온다. 작업대마다 공구가 제자리에 걸려 있고, 벽에는 큼직한 글씨로 '공방의 여섯 가지 약속'이 붙어 있다. 햇살 드는 창가에서는 3D 프린터 두 대가 조용히, 그리고 아주 느리게 무언가를 쌓고 있다.

"어서 와요, 훈련생 여러분!"

동네 타이탄 PC방의 미모의 사장님, 티타였다.

"예술 작품을 만드는 일은 어쩌면 비행기 조종보다 어려울 수 있어요. 하지만 괜찮아요. 뭐든 알고 나면 쉬운 법이니까요. 저도 첫 조종간을 만들 때 나사를 반대로 돌리다가 세 번이나 떨어뜨려 잃어버렸거든요. 세 번 다 같은 나사였어요."

티타가 가운데 작업대로 안내한다. 그 위에 손바닥만 한 조종간 하나가 놓여 있다.

"이게 오늘부터 여러분이 만들 훈련용 조종간, **GGsF_DiyS**예요. 시즌 1의 세스나부터 시즌 3의 전투기까지, 우리 훈련생들이 이 조종간을 쥐고 날았어요. 이번에는 여러분 손으로 직접 만들어 볼 거예요."

티타가 조종간을 살짝 기울였다가 놓는다. 조종간이 '톡' 하고 제자리로 돌아온다.

“이 책은 제 작업 지시서예요. 지시 사항은 짧고 쉽게 전달할게요. 대신 손으로 보여 드려야 하는 건 모두 영상에 담아 두었어요. STEP 카드가 보이면 영상을 켜 주세요. 책은 **순서와 이유**를 알려 드리고, 영상은 **손의 움직임과 정확한 값**을 보여 줄게요. 영상은 늘 최신으로 고쳐 둘게요. 책은 그렇게 자주 못 고치거든요.”

“그리고 이 공방에서 배운 건 그대로 집에 가져가세요. 여러분의 책상도 공구 몇 개만 있으면 바로 정비창이에요.”

“천천히 해도 돼요. 대신 하나만 약속해요. **대충은 하지 않기로.**”

“여러분만의 작품을 기대할게요.”

PART 0

정비 공방에 들어서다

Preparation

> “공구보다 먼저 손에 쥘 것은 원칙이에요.”

STEP 01 무엇을 만드는지 먼저 봐요 — GGsF_DiyS

작업 지시

만들기 전에 완성품부터 볼게요. 목적지를 알아야 비행도 즐겁잖아요.

GGsF_DiyS는 세 가지 약속으로 설계했어요. **누구나 만들 수 있을 것. 시중에서 파는 부품으로 만들 수 있을 것. 훈련에 꼭 맞게 정밀할 것.**

움직이는 축은 두 개예요. 좌우로 기울이는 **롤**, 앞뒤로 끄덕이는 **피치**. 손잡이에는 시즌 1부터 3까지 훈련에 필요한 버튼과 스위치가 모두 들어가요.

조종간이 하는 일은 딱 세 단계예요. 손이 막대를 움직이면 **관절(짐벌)**이 돌고, **센서**가 그 움직임을 읽고, **제어 보드**가 그걸 PC에 전해요. 사람으로 치면 뼈, 눈, 뇌예요. 이 책은 이 셋을 하나씩 여러분 손으로 만들어 가는 과정이에요.

따라 하기

1. 영상으로 완성품을 앞뒤 옆에서 살펴봐요.
2. 조종간이 움직이는 두 방향(롤·피치)을 확인해요.

3 부록 A 부품표를 펼쳐 무엇이 필요한지 한 번 훑어봐요.

훈련생 질문

Q. 손잡이를 비트는 축은 없나요? 다른 조종간에는 있던데요.

티타 일부러 뺐어요. 진짜 비행기도 방향은 발로 틀거든요. 비틀기 축이 있으면 옆으로 밀 때 손목이 살짝만 돌아가도 비행기가 엉덩이를 씰룩거려요. 손은 기울이고 끄덕이는 데만 집중하게 해 주면 훨씬 정밀해져요.

STEP 01

GGsF_DiyS 소개 — 완성품과 제원

▶ 제작 영상 · 무엇을 만드는지 먼저 보고 싶을 때

영상 코드 **4-001** · metapilots.kr/v/4-001

□ **점검** □ 조종간의 세 단계(관절 → 센서 → 제어 보드)를 말할 수 있다

STEP 02 길을 골라요 — 키트 길과 시장 길

작업 지시

조종간을 만드는 길은 두 갈래예요.

[키트 길] 전자 부품이 한 상자에 다 들어 있어요. 선은 꽂기만 하면 되고 인두기가 필요 없어요. 처음이라면 이 길을 권해요.

[시장 길] 부품을 하나씩 구해서 만들어요. 버튼과 보드를 잇는 곳에 납땜이 필요해서 조금 어렵지만, 키트가 없어도 세상 어디서든 만들 수 있어요. 납땜은 엔지니어의 기본기이기도 하고요.

어느 길이든 몸체를 출력하고, 뼈대를 세우고, 설정하는 과정은 똑같아요. 길이 갈리는 STEP에는 표시를 해 두었어요.

따라 하기

1. 영상에서 키트 상자와 시장 부품 모음을 비교해 봐요.
2. 내 상황에 맞는 길을 골라요. 고민된다면 키트 길이에요.
3. 시장 길이라면 부록 A를 보며 부품을 준비해요.

훈련생 질문

Q. 키트로 만들면 납땜은 안 배워도 되나요?

티타 조종간을 만드는 데는 필요 없어요. 그래도 STEP 17은 한 번 읽어 두세요. 언젠가 선 하나가 끊어지는 날이 와요. 꼭 비행 약속 10분 전에요. 그날 여러분을 구해 주는 게 납땜이에요.

STEP 02

길 고르기 — 키트 길과 시장 길

▶ 제작 영상 · 키트로 할지 부품을 살지 고민될 때

영상 코드 **4-002** · metapilots.kr/v/4-002

□ 점검 □ 내 길을 골랐다 (□ 키트 길 □ 시장 길)

STEP 03 공구를 갖춰요

작업 지시

목수는 연장을 탓하지 않는다고 하죠. 대신 연장을 잘 골라요.

공구는 세 묶음이에요. **조이는 공구**(드라이버·육각 렌치, 정밀 니퍼, 스프링 걸이), **잇는 공구**(온도 조절 인두기와 거치대, 실납, 플럭스, 전선 피복 벗기개 — 시장 길만), **재는 공구**(멀티미터, 그리고 펌웨어를 처음 올릴 때 한 번 쓰는 업로더).

비싼 공구는 필요 없어요. 다만 두 가지는 아끼지 마세요. 온도를 맞출 수 있는 인두기, 그리고 인두기를 꽂아 둘 거치대예요.

따라 하기

1. 영상에서 공구 하나하나의 생김새와 쓰임을 봐요.
2. 내 길에 필요한 공구만 골라 모아요. 규격은 부록 A에 있어요.
3. 쓰는 순서대로 책상 한쪽에 늘어놓아요.

훈련생 질문

Q. 니퍼 대신 손톱깎이로 잘라도 되죠?

티타 그건 꼭 참아 주세요. 손톱깎이는 손톱을 위해 태어났어요. 플라스틱을 자르면 날도 부품도 울어요. 참고로 니퍼는 공방에서 가장 자주 사라지는 공구예요. 범인은 대개 옆자리 훈련생이고요.

STEP 03

공구 준비

▶ 제작 영상 · 무슨 공구가 필요한지 알고 싶을 때

영상 코드 **4-003** · metapilots.kr/v/4-003

□ **점검** □ 내 길에 필요한 공구가 책상 위에 다 있다

STEP 04 공방의 여섯 가지 약속

작업 지시

본격적으로 시작하기 전에, 여러분을 지켜 줄 여섯 가지 약속부터 함께 읽어요. 이 공방에는 아주 뜨거운 인두기와 몇 시간씩 돌아가는 3D 프린터가 있거든요. 어렵지 않아요. 습관이 되면 손이 먼저 기억해요.

따라 하기

1. **인두기는 꼭 거치대에 꽂아 두세요.** 인두기 끝은 300℃가 넘어요. 책상에 눕혀 두면 굴러서 손이나 전선을 다치게 해요.
2. **자르고 걸 때는 보안경을 써요.** 작은 조각이 눈으로 튈 수 있어요.
3. **창문을 열어 주세요.** 납땜 연기는 마시지 않는 게 좋아요. 작업이 끝나면 손도 꼭 씻고요.
4. **프린터는 지켜볼 수 있을 때만 켜요.** 잠잘 때나 외출할 때는 꺼 두세요.
5. **선을 만질 때는 조종간을 PC에서 뽑고 만져요.**
6. **어린이 훈련생은 보호자와 함께해요.**

훈련생 질문

Q. 프린터가 열 시간 걸린다는데, 밤새 켜 두면 안 될까요?

티타 마음은 알아요. 빨리 보고 싶죠. 그래도 오래 걸리는 부품은 아침에 시작해서 낮 동안 지켜봐 주세요. 하루 늦게 완성하는 것보다 여러분이 안전한 게 훨씬 중요하니까요.

티타의 한마디

안전 약속은 한 번 읽고 끝나는 게 아니에요. 작업을 시작할 때마다 이 쪽을 펼쳐 보는 것, 그게 좋은 정비사의 첫 번째 습관이에요.

STEP 04

공방의 여섯 가지 안전 약속

▶ 제작 영상 · 작업 전 안전을 확인할 때

영상 코드 **4-004** · metapilots.kr/v/4-004

☐ **점검** ☐ 보안경과 거치대가 손 닿는 곳에 있다 ☐ 이 쪽을 사진 찍어 내 작업대 벽에도 붙였다

티타 잘했어요. 이제 정말 시작할 준비가 됐네요. 다음은 뼈대예요. 프린터를 데워 볼까요?

PART 1

뼈대를 세우다

Frame & Mechanics

> "튼튼한 뼈대가 좋은 비행을 만들어요."

STEP 05 도면을 받아 슬라이서에 올려요

작업 지시

3D 프린터는 아주 가는 플라스틱 실을 녹여서 바닥부터 한 층씩 쌓아 올리는 기계예요. 글루건으로 그림을 그린다고 생각하면 돼요. 아주 성실하고, 아주 느린 화가죠.

프린터가 무엇을 쌓을지 알려 주는 게 **도면 파일**이에요. GGsF_DiyS 도면은 메타파일럿 자료실에서 받을 수 있어요(부록 B). 그런데 프린터는 도면을 바로 읽지 못해요. 그래서 **슬라이서 앱**이 도면을 얇게 썰어서 프린터가 알아듣는 출력 파일로 바꿔 줘요. 이름 그대로 식빵 썰듯이요.

재료는 **PLA+** 하나만 써요. 냄새가 적고, 출력이 쉽고, 튼튼하거든요. 몸체와 버튼을 서로 다른 두 색으로 뽑아 조합하면 도색 없이도 예쁜 조종간이 돼요. 한여름 차 안에만 두지 마세요. 녹아요.

따라 하기

1. 자료실에서 GGsF_DiyS 도면 파일을 내려받아요.

2. 내 프린터의 슬라이서 앱에 도면을 올려요.

3. 몸체용 색과 포인트용 색, 두 가지 필라멘트를 준비해요.

훈련생 질문

Q. 제 프린터는 다른 회사 제품인데 괜찮을까요?

티타 그럼요. 출력 크기만 맞으면 어떤 소형 프린터든 괜찮아요. 우리가 시험해 본 프린터와 앱은 부록 B에 적어 두었고, 영상에서는 두 가지 예로 보여 드려요.

STEP 05

도면 받기와 슬라이서에 올리기

▶ 제작 영상 · 도면을 어디서 받는지 모를 때

영상 코드 **4-005** · metapilots.kr/v/4-005

□ **점검** □ 도면이 슬라이서 화면에 올라왔다 □ 두 가지 색 필라멘트를 준비했다

STEP 06 속을 얼마나 채울까 — 출력 설정

작업 지시

출력물은 겉만 보면 다 똑같아 보여도, 속을 얼마나 채웠느냐에 따라 튼튼함이 달라져요.

부품은 네 무리예요. **짐벌 부품, 본체, 그립, 버튼.** 이 중에 힘을 가장 많이 받는 건 짐벌 부품이에요. 그래서 짐벌은 속을 빽빽하게 채우고, 나머지는 보통으로 채워요. 속이 텅 빈 짐벌은 속 빈 강정이에요. 겉은 멀쩡한데 한 번에 '뚝'.

프린터는 바닥부터 쌓기 때문에 허공에 떠 있는 부분은 혼자 못 쌓아요. 그럴 땐 임시 기둥, **서포트**를 세워요. 다행히 GGsF_DiyS는 서포트가 거의 필요 없게 설계했어요.

따라 하기

1. 부품을 네 무리로 나눠요.
2. 짐벌 부품은 속을 빽빽하게, 나머지는 보통으로 설정해요. 정확한 값은 영상에서 확인해요.
3. 서포트가 필요한 부품만 서포트를 켜요.

훈련생 질문

Q. 전부 빽빽하게 채우면 더 튼튼하지 않을까요?

티타 튼튼해지긴 하는데, 시간도 필라멘트도 두세 배로 들어요. 힘을 받는 곳만 빽빽하게 해도 충분해요. 비행기도 필요한 곳에만 뼈대를 넣는답니다.

STEP 06

출력 설정 — 밀도와 서포트

▶ 제작 영상 · 부품마다 설정이 헷갈릴 때

영상 코드 **4-006** · metapilots.kr/v/4-006

□ 점검 □ 짐벌 부품만 속을 빽빽하게 설정했다

STEP 07 첫 층을 지켜봐요

작업 지시

출력은 첫 층이 반이에요. 첫 층이 출력판에 납작하게 잘 붙으면 그다음은 프린터가 알아서 해요.

출력판은 손으로 만지지 마세요. 손의 기름 때문에 플라스틱이 잘 안 붙어요. 그리고 첫 층이 깔리는 몇 분 동안은 꼭 옆에서 지켜봐 주세요. 공방에서는 이걸 '불멍' 대신 **'층멍'**이라고 불러요. 생각보다 중독돼요.

실이 말려 올라가거나 판에서 들뜨면, 아까워하지 말고 바로 멈춰요. 그대로 두면 실이 엉킨 **국수 괴물**이 태어나요. 판을 닦고 다시 시작하면 돼요.

따라 하기

1. 출력판을 깨끗이 닦아요.
2. 출력을 시작하고, 첫 층이 깔리는 동안 지켜봐요.
3. 이상하면 멈추고, 판을 닦고, 다시 출력해요.

훈련생 질문

Q. 첫 층이 잘 붙었는지는 어떻게 알아요?

티타 납작하고 매끈하게 판에 눌려 있으면 잘 붙은 거예요. 동글동글 실 모양이 그대로 보이거나 끝이 들려 있으면 다시 하는 게 좋아요. 잘된 첫 층과 안된 첫 층을 영상에서 나란히 보여 드릴게요.

STEP 07

첫 층 확인과 출력

▶ 제작 영상 · 출력이 자꾸 실패할 때

영상 코드 **4-007** · metapilots.kr/v/4-007

□ **점검** □ 첫 층을 내 눈으로 확인했다

STEP 08 떼어내고 다듬어요

작업 지시

출력이 끝나면 바로 떼고 싶죠. 조금만 기다려 주세요. 판이 식으면 출력물이 훨씬 쉽게 떨어져요. 얼음틀에서 얼음 빼듯이 판을 살짝 휘면 '똑' 떨어진답니다. 칼로 긁어내면 판도 부품도 다쳐요.

서포트는 보안경을 쓰고 니퍼로 뿌리를 집어 떼어요. 손에 걸리는 작은 돌기가 있으면 고운 사포로 살살 다듬고요.

그리고 나사를 박기 전에, 부품을 손으로 먼저 맞춰 봐요. 이걸 **가조립**이라고 해요. 잘 안 맞으면 바로 다시 뽑지 말고, 삐져나온 실이나 휜 곳이 없는지 먼저 찾아봐요.

따라 하기

1. 판이 식은 뒤 판을 휘어 출력물을 떼요.
2. 보안경을 쓰고 서포트를 떼고 돌기를 다듬어요.
3. 모든 부품을 손으로 맞춰 보는 가조립을 해요.

훈련생 질문

Q. 부품이 잘 안 맞아요. 제가 뭘 잘못한 걸까요?

티타 걱정 마세요. 대부분은 작은 실 찌꺼기나 살짝 휜 모서리 때문이에요. 맞닿는 면을 손끝으로 쓸어 보면 범인이 금방 나와요. 프린터는 완벽하지 않아요. 그 빈틈을 메우는 게 정비사의 손길이에요.

STEP 08

떼어내기 · 서포트 제거 · 가조립

▶ 제작 영상 · 출력물을 다루는 법이 궁금할 때

영상 코드 **4-008** · metapilots.kr/v/4-008

☐ **점검** ☐ 모든 부품이 손으로 맞춰졌다

STEP 09 뼈대를 세워요 — 2축 짐벌

작업 지시

오늘은 뼈대예요. 조종간이 아무리 예뻐도 뼈대가 흔들리면 비행 전체가 흔들려요.

짐벌은 조종간이 앞뒤로, 좌우로 움직이게 해 주는 두 개의 관절이에요. 관절 하나에 한 방향씩, 그 둘이 십자로 엮여서 어느 방향으로든 기울 수 있게 돼요. 사람으로 치면 고개를 끄덕이는 관절과 갸웃하는 관절이에요. 끄덕끄덕은 피치, 갸웃갸웃은 롤.

따라 하기

1. 짐벌 부품을 조립 순서대로 늘어놓아요.
2. 안쪽 고리를 바깥 고리에 끼우고 축을 넣어요.
3. 조종간을 앞뒤·좌우로 움직여 걸리는 곳이 없는지 봐요.

훈련생 질문

Q. 베어링은 안 넣나요?

티타 GGsF_DiyS는 베어링 없이도 부드럽게 돌도록 설계했어요. 출력한 축과 구멍이 직접 맞물려 돌아요. 부품 수가 줄어서 만들기도, 고치기도 쉬워요.

STEP 09

2축 짐벌 조립

▶ 제작 영상 · 짐벌 부품 조립 순서가 궁금할 때

영상 코드 **4-009** · metapilots.kr/v/4-009

☐ **점검** ☐ 조종간이 네 방향으로 걸림 없이 움직인다

STEP 10 나사를 조이고 가운데를 맞춰요

작업 지시

이제 나사로 뼈대를 고정해요. 나사는 길이별로 접시를 나눠 담아 두세요. 바닥에 떨어진 나사는 4차원으로 사라지거든요. 제 생각엔 공방 바닥 어딘가에 나사 왕국이 있어요.

플라스틱은 쇠가 아니에요. 나사는 손으로 먼저 돌려 넣고, 공구로는 '딱' 멈추는 느낌이 오면 거기서 멈춰요. 그 이상 조이면 나사 구멍이 갈라져요.

그리고 가장 중요한 것. 손을 놓았을 때 조종간은 **정확히 가운데**로 돌아와야 해요. 이 물리적인 가운데가 틀어지면 비행기가 혼자 한쪽으로 기울어요. 조립할 때 축이 비뚤어지지 않게 수직과 수평을 맞춰 주세요.

따라 하기

1. 나사를 길이별로 나눠 담아요.

2. 정해진 자리에 손으로 먼저 돌려 넣고, 공구로 살짝 마무리해요.

3. 손을 놓았을 때 조종간이 가운데에 서는지 봐요.

훈련생 질문

Q. 나사를 끝까지 꽉 조이면 더 튼튼하지 않아요?

티타 튼튼해지는 게 아니라 뻑뻑해져요. 관절은 움직여야 관절이죠. 흔들림이 없어지는 데까지만 조여 주세요. 그 느낌은 영상에서 손으로 보여 드릴게요.

STEP 10

나사 조이기와 가운데 맞추기

▶ 제작 영상 · 어느 나사를 어디에 쓰는지 모를 때

영상 코드 **4-010** · metapilots.kr/v/4-010

□ **점검** □ 손을 놓으면 조종간이 정확히 가운데에 선다

STEP 11 부드럽게 — 마찰과 헐거움 잡기

작업 지시

조종간을 움직일 때 '끼익' 소리가 나거나 어딘가 걸린다면, 맞물린 면에 삐져나온 실이나 거친 곳이 있는 거예요. 살살 다듬어 주고, 그래도 뻑뻑하면 플라스틱용 구리스를 쌀알만큼만 발라요. 비빔밥 참기름처럼, 한 방울이면 충분해요.

반대로 너무 헐거운 것도 문제예요. 조종간을 살짝 움직였는데 축은 가만히 있는 구간, 이걸 **유격**이라고 해요. 유격이 있으면 착륙할 때 계기 바늘을 정밀하게 맞추기 어려워요. 유격은 기계의 문제라서 설정으로는 못 고쳐요. 손으로 찾아서 손으로 고쳐요.

따라 하기

1. 조종간을 천천히 움직이며 소리와 걸림을 확인해요.
2. 걸리는 곳은 다듬고, 필요하면 구리스를 쌀알만큼 발라요.
3. 손끝으로 조종간을 톡톡 건드려 헐거운 곳이 없는지 봐요.

훈련생 질문

Q. 구리스를 넉넉히 바르면 더 부드럽지 않을까요?

티타 처음엔 그래 보여도, 많이 바르면 먼지가 붙어서 오히려 거칠어져요. 적게, 필요할 때만. 그게 비결이에요.

STEP 11

마찰과 유격 점검

▶ 제작 영상 · 움직임이 뻑뻑하거나 헐렁할 때

영상 코드 **4-011** · metapilots.kr/v/4-011

☐ **점검** ☐ 소리 없이 움직이고, 헐거운 곳이 없다

STEP 12 손맛을 만들어요 — 스프링 걸기

작업 지시

조종간을 당겼을 때 느껴지는 묵직함, 놓았을 때 가운데로 돌아오는 힘. 이걸 **텐션**이라고 해요. 너무 가벼우면 장난감 같고, 너무 무거우면 팔이 아파요. 그 사이 어딘가에 '파일럿의 손맛'이 있어요.

GGsF_DiyS는 짐벌 고리에 **인장 스프링**을 걸어 텐션을 만들어요. 스프링은 꼭 보안경을 쓰고 스프링 걸이로 걸어 주세요. 손가락으로 당기다 놓치면, 스프링은 그 순간 우주선이 돼요. 대개 냉장고 밑으로 착륙하고요.

따라 하기

1. 보안경을 쓰고, 스프링 걸이로 스프링을 걸쇠 끝까지 걸어요.
2. 조종간을 각 방향 끝까지 밀었다 놓아 가운데로 돌아오는지 봐요.
3. 눈을 감고 천천히 한 바퀴 돌려, 모든 방향의 무게가 같은지 느껴요.

훈련생 질문

Q. 한쪽 방향만 가볍게 느껴져요.

티타 그쪽 스프링이 걸쇠에 반만 걸렸을 가능성이 커요. 다시 끝까지 걸어 주세요. 더 무겁거나 가벼운 손맛이 좋다면 스프링을 바꿀 수도 있어요. 어떤 스프링으로 바꾸면 되는지는 영상에서 알려 드릴게요.

티타의 한마디

눈을 감고 조종간을 돌려 보세요. 걸림 없이 미끄러지듯 움직이고, 손을 놓으면 제자리로 돌아오나요? 그 느낌이 바로 여러분이 만든 뼈대예요. 정말 잘했어요.

STEP 12

스프링 걸기와 손맛 점검

▶ 제작 영상 · 스프링이 잘 안 걸릴 때

영상 코드 **4-012** · metapilots.kr/v/4-012

☐ **점검** ☐ 모든 방향의 무게가 같다 ☐ 손을 놓으면 가운데로 돌아온다

티타 뼈대가 섰어요. 이제 이 뼈대에 신경을 이어 볼까요?

PART 2

신경을 잇다

Electronics & Wiring

> “전선은 핏줄이고, 신호는 신경이에요.”

STEP 13 두뇌를 만나요 — 제어 보드

작업 지시

조종간의 두뇌는 **제어 보드**예요. 센서와 버튼이 보내는 신호를 모아서 PC에 전해 줘요.

보드에는 작은 다리(핀)가 줄지어 있어서 처음 보면 지네 같아요. 겁먹지 마세요. 네 종류만 알면 돼요. **전원 핀**(센서와 확장보드에 힘을 주는 곳), **접지 핀**(전기가 돌아오는 곳), **축 입력 핀**(센서의 움직임을 받는 곳), **버튼 입력 핀**(버튼이 눌렸는지 받는 곳).

전기는 물처럼 전원에서 나와 접지로 흘러요. 이것만 기억해도 반은 안 거예요.

따라 하기

1. 영상을 보며 보드의 네 종류 핀을 찾아봐요.
2. 보드에 적힌 칩 이름이 부록 A와 같은지 확인해요.
3. 확장보드도 꺼내서 어디에 무엇을 꽂는지 살펴봐요.

훈련생 질문

Q. 보드에 전원 핀이 두 개 있던데, 아무 데나 써도 되나요?

티타 아주 좋은 질문이에요. 보드에는 높은 전압 핀과 낮은 전압 핀이 함께 있어요. 센서와 확장보드는 **반드시 영상에서 알려 드리는 낮은 전압 핀**에서 전원을 받아요. 보드가 좀 편식을 하거든요. 정해진 것만 먹어요. 잘못 먹이면 축 값이 틀어지거나 보드가 아파요.

티타의 한마디

전원선을 거꾸로 꽂지 않기. 정해진 전원 핀만 쓰기. 전자 부분에서 지킬 건 이 두 가지가 전부예요.

STEP 13

제어 보드와 확장보드 살펴보기

▶ 제작 영상 · 전자 부품이 처음일 때

영상 코드 **4-013** · metapilots.kr/v/4-013

☐ **점검** ☐ 센서용 전원 핀이 어디인지 손가락으로 짚을 수 있다

STEP 14 닳지 않는 눈 — 홀 센서 달기

작업 지시

조종간의 기울기를 읽는 눈이 **센서**예요. GGsF_DiyS는 **홀 센서**를 써요. 자석의 힘을 읽기 때문에 부품끼리 닿지 않아요. 만지지 않고 마음을 읽는 거죠. 닿지 않으니 닳지도 않아서, 오래 써도 값이 떨리지 않아요.

센서는 게임기 조이스틱에 쓰는 기성품 모듈을 그대로 써요. 어디서나 싸게 구할 수 있고 튼튼하거든요.

따라 하기

1. 영상을 보며 센서 모듈을 짐벌의 정해진 자리에 달아요.
2. 방향을 꼭 맞춰요. 거꾸로 달면 당겼는데 비행기가 땅으로 가요.
3. 짐벌을 움직일 때 센서가 함께 움직이는지 확인해요.

훈련생 질문

Q. 옛날 조이스틱은 몇 년 쓰면 값이 튀던데, 이것도 그런가요?

티타 그건 안에서 부품이 쓸리면서 닳는 방식이라서 그래요. 홀 센서는 닿지 않으니 그런 걱정이 거의 없어요. 그래서 정밀한 조종간은 대부분 이 방식을 써요.

STEP 14

홀 센서 모듈 달기

▶ 제작 영상 · 센서를 짐벌에 다는 법이 궁금할 때

영상 코드 **4-014** · metapilots.kr/v/4-014

□ **점검** □ 센서가 단단히 고정되었고 방향이 맞다

STEP 15 그립에 버튼과 스위치를 달아요

작업 지시

이제 손이 닿는 그립에 버튼과 스위치를 달아요. 시즌 1의 시점 바꾸기부터 시즌 3의 무장 버튼까지, 훈련에 필요한 버튼이 모두 여기 모여요.

버튼이 오십 개쯤 되는데 보드의 다리는 그보다 적어요. 그래서 **버튼 확장 칩**이라는 비서를 두어요. 버튼들의 보고를 모아서 보드에 한 번에 전해 주는 역할이에요. 일 잘하는 비서는 절대 보고를 빼먹지 않죠.

따라 하기

1. 영상을 보며 버튼·햇 스위치·트리거를 그립의 자리에 끼워요.
2. 버튼 위치는 영상의 배치를 따라요. 손가락이 자연스럽게 닿는지 쥐어 봐요.
3. 각 버튼의 선이 어디로 가는지 표시해 두어요.

훈련생 질문

Q. 여러 버튼을 동시에 누르면 엉뚱한 버튼이 눌리지는 않나요?

티타 걱정 마세요. 확장 칩은 버튼 하나하나를 따로 읽어서, 동시에 눌러도 서로 섞이지 않아요.

STEP 15

그립에 버튼·스위치 장착

▶ 제작 영상 · 버튼 위치와 장착이 헷갈릴 때

영상 코드 **4-015** · metapilots.kr/v/4-015

☐ **점검** ☐ 그립을 쥐었을 때 손가락이 버튼에 자연스럽게 닿는다

STEP 16 [키트 길] 꽂아서 잇기

작업 지시

키트 길은 선을 꽂아서 이어요. 커넥터는 방향 표시를 맞추고 **'딸깍' 소리가 날 때까지 끝까지** 꽂아 주세요. 반만 꽂힌 커넥터는 메시지를 읽고 답을 안 하는 친구 같아요. 연결은 된 것 같은데 대답이 없어요. 가장 찾기 어려운 고장이죠.

선 색에도 약속이 있어요. **빨강은 전원, 검정은 접지.** 나머지 색은 신호선이에요. 이 약속만 지키면 거꾸로 꽂을 일이 없어요.

따라 하기

1. 영상의 순서대로 커넥터를 하나씩 꽂아요.
2. 꽂을 때마다 방향 표시와 '딸깍'을 확인해요.
3. 빨강·검정 선이 정해진 자리에 갔는지 마지막으로 다시 봐요.

훈련생 질문

Q. 어느 선이 어느 핀으로 가는지 외워야 하나요?

티타 외우지 않아도 돼요. 영상과 부록 A의 연결표를 보면서 하나씩 꽂으면 돼요. 정비사는 외우는 사람이 아니라 확인하는 사람이에요.

STEP 16

[키트 길] 커넥터 꽂아 잇기

▶ 제작 영상 · 키트 선을 어디에 꽂는지 모를 때

영상 코드 **4-016** · metapilots.kr/v/4-016

□ **점검** □ 모든 커넥터가 '딸깍' 끝까지 꽂혔다

STEP 17 납땜의 기초 — 동그랗고 반짝이게

작업 지시

납땜은 풀로 붙이는 게 아니라, 납을 녹여서 이어 주는 거예요. 처음 하는 분들은 인두기로 납부터 녹여서 부품 위에 떨어뜨리곤 해요. 그러면 칙칙한 회색 구슬이 얹혀요. 공방에서는 그걸 **'납 만두'**라고 불러요. 맛은 없고 금방 떨어져요.

비결은 세 박자예요. **데우기** — 인두기를 붙일 곳(부품 다리와 패드)에 대고 데워요. **납 대기** — 납을 인두기가 아니라 데워진 곳에 대요. 스르르 녹아 흘러 들어가요. **떼기** — 납을 먼저 떼고, 인두기를 떼요. 식을 때까지 건드리지 않아요.

잘된 납땜은 작은 화산처럼 반짝이고 매끈해요.

따라 하기

1. 창문을 열고, 보안경을 쓰고, 인두기를 거치대에 꽂아요.
2. 연습용 부품으로 세 박자를 열 번 연습해요.
3. 잘된 납땜과 납 만두를 영상과 비교해요.

훈련생 질문

Q. 납이 자꾸 동그랗게 뭉쳐서 안 붙어요.

티타 대부분 부품이 덜 데워졌기 때문이에요. 조금 더 오래 데워 보고, 플럭스를 살짝 발라 보세요. 납이 훨씬 잘 흘러요. 처음엔 다 그래요. 열 번 하면 손이 알아요.

티타의 한마디

인두기를 잠깐 내려놓을 때도 꼭 거치대에요. 작업이 끝나면 손을 씻고요.

STEP 17

납땜 기초

▶ 제작 영상 · 납땜이 처음일 때

영상 코드 **4-017** · metapilots.kr/v/4-017

□ **점검** □ 반짝이는 작은 화산 모양 납땜을 만들 수 있다

STEP 18 [시장 길] 버튼과 확장보드 잇기

작업 지시

시장 길에서는 버튼과 확장 칩 보드를 납땜으로 이어요. STEP 17에서 연습한 세 박자를 그대로 써요.

확장 칩 하나가 버튼 여러 개를 받아요. 버튼이 많으면 칩 보드를 여러 개 기차처럼 이어 붙여요. 어떤 버튼을 몇 번째 자리에 이을지는 영상과 부록 A 연결표를 따라 주세요. 순서가 바뀌면 버튼 이름도 바뀌어요. 착륙등을 켰는데 미사일이 나갈 수도 있어요.

따라 하기

1. 연결표를 옆에 펴 두어요.
2. 버튼 하나씩 정해진 자리에 납땜해요.
3. 칩 보드를 순서대로 이어 붙이고, 보드에 연결해요.

훈련생 질문

Q. 하나 잘못 이으면 처음부터 다시 해야 하나요?

티타 아니에요. 그 선 하나만 다시 녹여서 옮기면 돼요. 그래서 하나 이을 때마다 연결표에 체크해 두면 좋아요. 나중에 찾기도 쉽고요.

STEP 18

[시장 길] 버튼·확장보드 납땜

▶ 제작 영상 · 키트 없이 배선할 때

영상 코드 **4-018** · metapilots.kr/v/4-018

□ **점검** □ 연결표의 모든 칸에 체크했다

STEP 19 삐— 소리로 확인해요

작업 지시

꽂고 붙였다고 끝이 아니에요. 정말 이어졌는지 확인해요. 이때 쓰는 게 **멀티미터**예요. 선이 이어져 있으면 '삐—' 하고 노래를 불러 줘요.

확인은 꼭 **조종간을 PC에서 뽑고** 해요.

소리가 안 나면 버튼부터 의심하지 말고 길을 따라가 보세요. 버튼 → 커넥터 → 확장보드. 범인은 대개 반만 꽂힌 커넥터나 떨어진 납땜이에요. 반대로 버튼을 누르지 않았는데 소리가 나면, 어딘가 선끼리 닿아 있는 거예요.

따라 하기

1. 조종간을 PC에서 뽑고, 멀티미터를 통전 모드로 놓아요.
2. 버튼마다 양쪽 다리에 대고 눌러서 '삐—'를 들어요.
3. 소리가 안 나는 곳은 길을 따라가며 찾아요.

훈련생 질문

Q. 버튼이 오십 개나 되는데 다 해 봐야 해요?

티타 네, 하나도 빼지 않고요. 지금 십 분이면 끝나는 일이, 뚜껑을 다 닫고 나면 한 시간이 걸려요. 오십 번의 '삐—', 정비사에게는 가장 아름다운 합창이에요.

STEP 19

멀티미터로 '삐—' 확인하기

▶ 제작 영상 · 연결이 잘 됐는지 확인할 때

영상 코드 **4-019** · metapilots.kr/v/4-019

□ **점검** □ 모든 버튼에서 '삐—'를 들었다

STEP 20 선을 정리하고 뚜껑을 닫아요

작업 지시

뚜껑을 열었을 때 스파게티처럼 엉킨 선이 튀어나오면 고장도 따라 나와요. 선은 케이블 타이로 묶어서 벽 쪽으로 가지런히 정리해요.

하나만 꼭 기억해 주세요. **움직이는 짐벌 쪽으로 가는 선은 여유를 남겨요.** 팽팽하면 비행할 때마다 당겨지고 눌려서 결국 끊어져요.

따라 하기

1. 선을 케이블 타이로 묶어 정리해요.
2. 짐벌 쪽 선은 여유 있게 남겨요.
3. 뚜껑을 닫기 전에 조종간을 사방 끝까지 움직여 선이 걸리지 않는지 확인해요.

훈련생 질문

Q. 선이 조금 길게 남는데, 잘라도 될까요?

티타 짐벌 쪽 선이라면 자르지 말고 살짝 고리를 만들어 두세요. 그 여유가 나중에 선을 지켜 줘요. 나머지는 깔끔하게 묶어 두면 충분해요.

STEP 20

선 정리와 본체 닫기

▶ 제작 영상 · 선이 짐벌에 걸릴 때

영상 코드 **4-020** · metapilots.kr/v/4-020

☐ **점검** ☐ 사방 끝까지 움직여도 선이 걸리지 않는다

티타 뼈대와 신경이 다 생겼어요. 이제 이 조종간에 숨을 불어넣어 볼까요?

PART 3

숨을 불어넣다

Firmware & Setup

> “플라스틱과 전선이 조종간이 되는 순간이에요.”

STEP 21 조종간 펌웨어를 올려요

작업 지시

공장에서 갓 나온 보드는 아직 아무것도 모르는 빈 머리예요. 여기에 “너는 이제부터 조종간이야”라고 이름을 붙여 주는 프로그램이 **펌웨어**예요.

GGsF_DiyS는 전 세계 조종간 제작자들이 함께 만든 **무료 공개 조종간 펌웨어**를 써요(이름은 부록 B). 코드를 한 줄도 짤 필요가 없어요. 펌웨어를 보드에 올리는 일을 **플래싱**이라고 하는데, 처음 딱 한 번만 하면 돼요. 이때 **업로더**라는 작은 장치를 써요.

따라 하기

1. 업로더를 영상에서 알려 드리는 보드의 핀에 연결해요.
2. 플래싱 프로그램에서 펌웨어 파일을 골라 올려요.
3. 완료 표시가 뜨면 업로더를 떼요.

훈련생 질문

Q. 플래싱할 때 USB도 같이 꽂아 두면 편하지 않을까요?

티타 그건 꼭 피해 주세요. 업로더와 USB를 함께 꽂으면 보드에 전원이 두 곳에서 들어가요. 한 사람에게 밥을 두 번 먹이는 셈이죠. 플래싱할 때는 업로더 하나만, 기억해 주세요.

STEP 21

조종간 펌웨어 올리기

▶ 제작 영상 · 보드에 펌웨어를 처음 올릴 때

영상 코드 **4-021** · metapilots.kr/v/4-021

☐ **점검** ☐ 플래싱이 완료되었다 (USB는 뽑은 상태로 했다)

STEP 22 설정 파일을 불러와요

작업 지시

펌웨어가 올라가도, 어느 핀에 센서가 있고 어느 핀에 버튼이 있는지는 아직 몰라요. 그걸 정해 주는 게 **설정**이에요.

다행히 하나하나 정할 필요가 없어요. GGsF_DiyS에 맞춘 **설정 파일**을 자료실에 준비해 두었거든요. 설정 프로그램에서 불러와 보드에 저장하기만 하면 돼요. 한 번 저장하면 조종간이 계속 기억해요. 저보다 기억력이 좋아요.

따라 하기

1. 자료실에서 GGsF_DiyS 설정 파일을 내려받아요.
2. 설정 프로그램에서 파일을 불러와요.
3. 보드에 저장해요.

훈련생 질문

Q. 나중에 버튼 기능을 바꾸고 싶으면요?

티타 언제든 바꿀 수 있어요. 처음에는 제공한 파일 그대로 써 보고, 바꾸고 싶은 게 생기면 그때 바꿔요. 방법은 STEP 32에서 다시 이야기해요.

STEP 22

GGsF_DiyS 설정 파일 불러오기

▶ 제작 영상 · 설정 파일 적용법이 궁금할 때

영상 코드 **4-022** · metapilots.kr/v/4-022

☐ **점검** ☐ 설정 파일을 보드에 저장했다

STEP 23 숨을 쉬는지 확인해요

작업 지시

드디어 조종간을 PC에 꽂을 시간이에요. 따로 드라이버를 깔지 않아도 PC가 게임 컨트롤러로 알아봐요.

PC의 게임 컨트롤러 확인 창을 열고 조종간을 움직여 보세요. 화면의 점이 따라오고, 버튼마다 불이 켜지나요? 그럼 여러분의 조종간이 숨을 쉬기 시작한 거예요.

따라 하기

1. 조종간을 USB로 PC에 꽂아요.
2. 게임 컨트롤러 확인 창을 열어요.
3. 축을 움직이고, 버튼을 하나씩 눌러 모두 반응하는지 봐요.

훈련생 질문

Q. PC가 조종간을 못 알아봐요.

티타 당황하지 말고 순서대로 봐요. 먼저 케이블이 충전 전용이 아닌지 봐요. 생각보다 범인인 경우가 많아요. 다른 USB 구멍에도 꽂아 보고, 그래도 안 되면 STEP 21로 돌아가 펌웨어를 다시 올려 보세요. 대부분 여기서 해결돼요.

티타의 한마디

처음 불이 켜지는 순간, 저는 아직도 가슴이 뛰어요. 여러분도 그렇죠? 축하해요. 사진 한 장 찍어 두세요.

STEP 23

PC에서 동작 확인

▶ 제작 영상 · PC가 조종간을 인식했는지 볼 때

영상 코드 **4-023** · metapilots.kr/v/4-023

☐ **점검** ☐ 두 축과 모든 버튼이 화면에서 반응한다

STEP 24 가운데와 끝을 알려 줘요 — 영점 보정

작업 지시

조종간을 가만히 두고 설정 프로그램의 숫자를 보면, 딱 가운데가 아니라 조금 옆을 가리키고 있을 거예요. 고장이 아니에요. 사진 찍을 때 고개를 살짝 기울이는 버릇 같은, 조립과 센서의 아주 작은 차이예요.

그래서 조종간에게 알려 줘요. “손을 뗀 이 자리가 진짜 가운데야.” 그리고 각 방향 끝까지 밀어서 “여기가 끝이야.” 이걸 **영점 보정**이라고 해요.

따라 하기

1. 손을 뗀 상태에서 가운데를 저장해요.
2. 각 방향 끝까지 천천히 밀어 끝을 저장해요.
3. 다시 움직여 가운데와 끝이 잘 잡혔는지 확인해요.

훈련생 질문

Q. 비행 앱에도 보정 메뉴가 있던데, 거기서도 해야 해요?

티타 보정은 **한 곳에서만** 해요. 설정 프로그램에서 한 번 했으면 PC나 비행 앱에서는 다시 하지 마세요. 두 사람이 동시에 운전대를 잡으면 차가 어디로 갈지 모르잖아요.

STEP 24

가운데와 끝 보정

▶ 제작 영상 · 비행기가 혼자 기울 때

영상 코드 **4-024** · metapilots.kr/v/4-024

□ 점검 □ 가운데와 끝을 저장했다 □ 보정은 한 곳에서만 했다

STEP 25 손떨림을 받아 주는 쉼터 — 데드존과 반응 곡선

작업 지시

사람 손은 아주 조금씩 떨려요. 그 작은 떨림까지 비행기가 다 따라 하면 손을 놓아도 꼼지락거려요. 그래서 가운데에 아주 작은 쉼터를 만들어요. 이 구간의 아주 작은 움직임은 못 본 척하는 거예요. 이걸 **데드존**이라고 해요.

쉼터는 작을수록 좋아요. 너무 넓으면 착륙할 때 계기 바늘을 정밀하게 맞추기 어려워져요.

반응 곡선도 있어요. 가운데에서는 부드럽게, 끝으로 갈수록 민감하게. 편대 비행이나 공중급유처럼 아주 정밀한 조작이 필요할 때 도움이 돼요.

따라 하기

1. 데드존을 아주 작게 설정해요.
2. 반응 곡선은 처음엔 기본으로 두어요.
3. 비행해 보고, 필요할 때만 조금씩 바꿔요. 권장 값은 영상에서 알려 드려요.

훈련생 질문

Q. 데드존을 크게 하면 비행기가 더 안정적이지 않을까요?

티타 손을 놓았을 땐 안정적이에요. 그런데 작은 조작에도 반응하지 않게 돼서, 바늘을 맞추는 순간 답답해져요. 쉼터는 쉬는 곳이지 잠자는 곳이 아니에요.

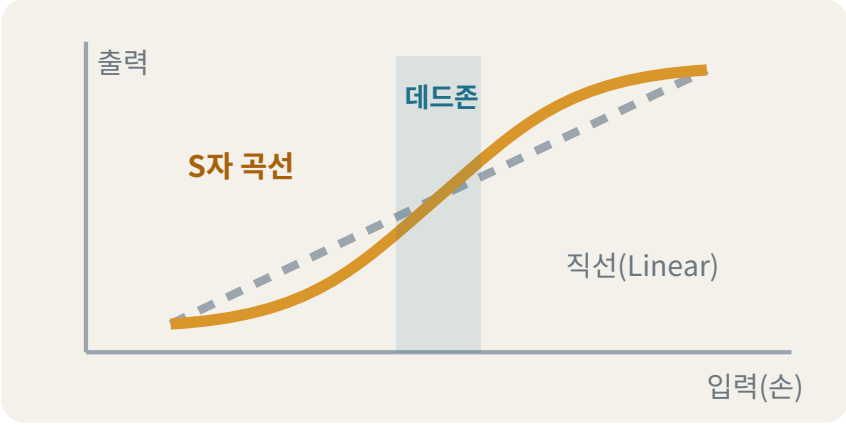
STEP 25

데드존과 반응 곡선

▶ 제작 영상 · 조작이 둔하거나 예민할 때

영상 코드 **4-025** · metapilots.kr/v/4-025

☐ **점검** ☐ 데드존을 아주 작게 시작했다



데드존과 S자 반응 곡선 (개념도 · 값은 영상에서)

STEP 26 시즌 1 기체에 연결해요 — 세스나

작업 지시

하드웨어와 소프트웨어가 악수하는 순간이에요. 비행 앱에서 조종간의 축과 버튼에 할 일을 정해 주는 것을 **바인딩**이라고 해요.

먼저 시즌 1의 세스나부터 해요. 조종간에는 **롤과 피치** 두 축만 정해 주면 돼요. 방향타는 러더 페달에, 출력은 스로틀에 맡겨요. 버튼에는 시점 돌리기, 쉬운 모드 시동처럼 1권에서 쓰던 기능을 넣어요.

따라 하기

1. 비행 앱의 조종 설정에서 롤·피치 축을 조종간에 정해요.
2. 1권에서 쓰던 버튼 기능을 영상의 배치대로 넣어요.
3. 세스나를 띄워 조종간과 비행기가 같은 방향으로 움직이는지 확인해요.

훈련생 질문

Q. 비행 앱마다 메뉴가 달라서 헷갈려요.

티타 그래서 메뉴 화면은 책 대신 영상에 담았어요. 앱이 바뀌어도 영상은 새로 찍어 드릴 수 있거든요. 원리는 같아요. 축은 축에, 버튼은 기능에. 비행 앱 안내는 1권 부록 D에 있어요.

STEP 26

시즌 1 기체에 연결하기 — 세스나

▶ 제작 영상 · 세스나 훈련용으로 설정할 때

영상 코드 **4-026** · metapilots.kr/v/4-026

☐ **점검** ☐ 세스나가 조종간대로 움직인다

STEP 27 시즌 2 기체에 연결해요 — 2차대전 프로펠러기

작업 지시

시즌 2의 프로펠러 전투기도 같은 방법이에요. 축은 그대로 롤과 피치. 달라지는 건 버튼이에요. 방아쇠에 기관총을, 다른 버튼에 폭탄 같은 무장을 넣어요.

레이 튜터가 들으면 좋아하겠네요. 방아쇠는 검지가 가장 편하게 닿는 자리에 있어요. 그렇게 만들었으니까요.

따라 하기

1. 롤·피치 축을 정해요.
2. 방아쇠와 무장 버튼을 영상의 배치대로 넣어요.
3. 기체를 띄워 축과 버튼을 확인해요.

훈련생 질문

Q. 시즌마다 버튼을 다 다시 넣어야 하나요?

티타 처음 한 번만요. 비행 앱은 기체별로 설정을 기억해 줘요. 미리 만들어 둔 설정이 있으면 자료실에 올려 둘게요.

STEP 27

시즌 2 기체에 연결하기 — 2차대전 프로펠러기

▶ 제작 영상 · 2차대전 기체용으로 설정할 때

영상 코드 **4-027** · metapilots.kr/v/4-027

☐ **점검** ☐ 방아쇠를 당기면 기관총이 나간다

STEP 28 시즌 3 기체에 연결해요 — 제트 전투기

작업 지시

시즌 3의 제트 전투기는 버튼이 가장 많이 필요해요. 무장과 센서처럼 손을 떼지 않고 눌러야 하는 기능이 많거든요. GGsF_DiyS의 버튼이 오십 개쯤 되는 이유가 바로 여기 있어요.

씨걸 교관님은 버튼 하나 잘못 눌러도 다 알아보세요. 그러니 연결은 꼼꼼히요.

따라 하기

1. 롤·피치 축을 정해요.
2. 무장과 센서 버튼을 영상의 배치대로 넣어요.
3. 기체를 띄워 손을 떼지 않고 모든 버튼을 누를 수 있는지 확인해요.

훈련생 질문

Q. 버튼이 너무 많아서 다 외울 수 있을지 모르겠어요.

티타 처음부터 다 외울 필요는 없어요. 3권에서 하나씩 배우면서 손이 기억하게 돼요. 지금은 연결만 해 두면 충분해요.

STEP 28

시즌 3 기체에 연결하기 — 제트 전투기

▶ 제작 영상 · 제트 전투기 훈련용으로 설정할 때

영상 코드 **4-028** · metapilots.kr/v/4-028

점검 ☐ 손을 떼지 않고 필요한 버튼을 누를 수 있다

티타 축하해요. 이제 여러분이 만든 조종간으로 하늘을 날 수 있어요. 그런데 하나 더 남았어요. 진짜 정비사는 고장까지 준비하거든요.

PART 4

정비하고 길들이다

Maintenance & Custom

> “고장은 끝이 아니라 정비의 시작이에요.”

STEP 29 증상으로 원인을 찾아요

작업 지시

고장은 고치는 것보다 찾는 게 어려워요. 그리고 범인은 대개 가장 마지막에 손댄 곳에 숨어 있어요. 범인은 현장에 돌아온다잖아요. 증상별로 어디부터 볼지 정리해 두었어요.

증상	먼저 볼 곳 (순서대로)
손을 놓았는데 혼자 기울거나 떨려요	영점 보정(STEP 24) → 센서 고정 → 접지 선
PC가 조종간을 못 알아봐요	케이블(충전 전용?) → 다른 USB 구멍 → 보드 연결 → 펌웨어 다시 올리기(STEP 21)
버튼 하나가 대답이 없어요	‘삐—’ 확인(STEP 19) → 커넥터 → 납땜 → 연결표
다른 버튼이 같이 눌려요	비행 앱의 버튼 중복 → 선끼리 닿은 곳

따라 하기

1. 증상을 정확히 적어요.
2. 표의 순서대로 하나씩 확인해요.
3. 고친 뒤에는 부록 C 정비 기록부에 적어요.

훈련생 질문

Q. 아무리 봐도 원인을 모르겠으면요?

티타 그럴 땐 한 단계씩 처음으로 돌아가 봐요. 그리고 증상을 영상으로 찍어 메타파일럿 커뮤니티에 올려 주세요. 같은 고장을 먼저 겪은 정비사들이 꼭 있어요. 고장은 혼자 고치지만, 답은 같이 찾아요.

STEP 29

증상별 고장 찾기

▶ 제작 영상 · 조종간이 이상할 때

영상 코드 **4-029** · metapilots.kr/v/4-029

☐ **점검** ☐ 네 가지 증상별로 어디부터 볼지 안다

STEP 30 기름칠과 소모품 바꾸기

작업 지시

잘 만든 조종간도 오래 쓰면 조금씩 지쳐요. 움직임이 거칠어지면 구리스를 쌀알만큼, 스프링이 힘이 빠지면 같은 스프링으로, 버튼이 가끔 대답을 안 하면 그 버튼만 바꿔 주면 돼요. 금이 간 출력 부품은 도면으로 다시 뽑으면 되고요.

이게 직접 만든 장비의 힘이에요. 고치지 못할 고장이 없어요. A/S 센터가 바로 여러분 책상이니까요.

따라 하기

1. 움직임이 거칠면 구리스를 쌀알만큼 발라요.
2. 스프링·버튼·선 중 지친 것을 바꿔요.
3. 금이 간 부품은 다시 출력해요.

훈련생 질문

Q. 언제 바꿔야 하는지 어떻게 알아요?

티타 조종간이 말해 줘요. 가운데로 돌아오는 힘이 약해지면 스프링, 눌러도 가끔 반응이 없으면 버튼이에요. 평소에 손맛을 기억해 두면 달라진 걸 금방 느껴요.

STEP 30

윤활과 소모품 교체

▶ 제작 영상 · 움직임이 거칠어졌을 때

영상 코드 **4-030** · metapilots.kr/v/4-030

□ **점검** □ 바꿀 부품의 여분을 하나씩 갖고 있다

STEP 31 비상 수리 상자

작업 지시

비행 5분 전에 나사가 풀리면 어떡하죠? 고장은 꼭 그런 때를 골라서 와요. 그럴 때를 위해 작은 비상 상자를 하나 만들어 두어요.

드라이버·육각 렌치, 여분 스프링, 여분 선, 여분 센서와 버튼, 케이블 타이. 이 정도면 대부분의 응급 상황을 넘길 수 있어요. 책상 서랍이나 조종간 받침 아래에 두면 좋아요.

따라 하기

1. 작은 상자에 비상 부품과 공구를 담아요.
2. 손 닿는 곳에 두어요.
3. 쓴 부품은 바로 채워 넣어요.

훈련생 질문

Q. 고친 내용을 꼭 적어야 해요?

티타 적어 두면 다음 고장이 어디서 올지 보여요. 부록 C 정비 기록부에 날짜와 증상, 원인, 처치만 짧게 적어 주세요. 기록은 정비사의 두 번째 기억이에요. 첫 번째 기억은 가끔 퇴근하거든요.

STEP 31

비상 수리 상자

▶ 제작 영상 · 급하게 고쳐야 할 때

영상 코드 **4-031** · metapilots.kr/v/4-031

□ **점검** □ 비상 상자가 손 닿는 곳에 있다

STEP 32 버튼의 일과 색을 바꿔요

작업 지시

이제부터는 내 손에 맞게 길들일 차례예요. 버튼이 하는 일은 설정 프로그램과 비행 앱에서 언제든 바꿀 수 있어요. 새 기체를 배우면 남는 버튼에 그 기체의 기능을 넣어 주세요.

색도 바꿀 수 있어요. 그립과 버튼은 따로 출력하니까, 좋아하는 색 필라멘트로 다시 뽑으면 세상에 하나뿐인 조종간이 돼요. 핑크도 좋고요. 제가 아는 훈련생 하나는 핑크로 칠해 달라고 수료 날까지 졸랐답니다.

따라 하기

1. 자주 쓰는 기능을 가장 누르기 쉬운 버튼에 옮겨요.
2. 좋아하는 색으로 그립이나 버튼을 다시 출력해요.
3. 바꾼 내용을 기록부에 적어요.

훈련생 질문

Q. 설정을 바꿨다가 엉망이 되면요?

티타 처음 받은 설정 파일을 다시 불러오면 언제든 처음으로 돌아가요. 그러니 마음껏 바꿔 보세요.

STEP 32

버튼 기능과 색 바꾸기

▶ 제작 영상 · 나만의 조종간으로 바꾸고 싶을 때

영상 코드 **4-032** · metapilots.kr/v/4-032

□ **점검** □ 내 손에 맞게 버튼 하나 이상을 바꿨다

STEP 33 점토로 내 손에 맞는 그립 만들기

작업 지시

기성품은 '평균적인 손'에 맞춰 만들어요. 하지만 여러분 손은 평균이 아니잖아요.

출력한 그립 위에 점토를 붙이고, 비행할 때처럼 꽉 쥐어 보세요. 손가락 마디와 엄지 자리가 그대로 찍혀요. 어릴 때 찰흙 놀이 기억나죠? 그거예요. 다만 이번엔 비행기를 몰 손을 위한 찰흙이에요. 그 모양을 바탕으로 도면을 고치면 오직 내 손을 위한 그립이 나와요.

따라 하기

1. 그립에 점토를 고르게 붙여요.
2. 비행 자세로 꽉 쥐어 손 모양을 찍어요.
3. 영상의 방법으로 그 모양을 도면에 옮겨 다시 출력해요.

훈련생 질문

Q. 도면 고치는 건 어려워 보여요.

티타 처음엔 그래요. 영상에서 차근차근 보여 드릴게요. 꼭 오늘 할 필요는 없어요. 조종간에 익숙해진 뒤에, 더 잘 맞는 손맛이 궁금해질 때 도전해 보세요.

STEP 33

점토로 그립 개조하기

▶ 제작 영상 · 그립이 손에 안 맞을 때

영상 코드 **4-033** · metapilots.kr/v/4-033

□ **점검** □ (선택) 내 손 모양을 본떠 보았다

STEP 34 다음 장비 미리보기 — 러더 페달 GGsF_DiyR

작업 지시

비행 조종의 완성은 발이에요. GGsF_DiyS에 비틀기 축이 없는 이유, 기억나죠? 방향은 발로 트니까요.

러더 페달 **GGsF_DiyR**도 지금까지 배운 방법 그대로 만들어요. 출력하고, 뼈대를 세우고, 센서를 달고, 설정해요. 여러분은 이미 다 할 줄 알아요. 손이 두 개에서 발 두 개로 바뀌었을 뿐이에요.

따라 하기

1. 영상으로 GGsF_DiyR 완성품과 제작 과정을 봐요.
2. 조종간과 무엇이 같고 무엇이 다른지 찾아봐요.

훈련생 질문

Q. 페달도 책으로 나오나요?

티타 러더 페달과 조종석은 영상으로 안내해요. 이 책에서 배운 기본기가 있으면 영상만으로도 충분히 따라 할 수 있어요.

STEP 34

러더 페달 GGsF_DiyR 미리보기

▶ 제작 영상 · 러더 페달을 만들고 싶을 때

영상 코드 **4-034** · metapilots.kr/v/4-034

□ **점검** □ 조종간과 페달의 공통점을 세 가지 말할 수 있다

STEP 35 다음 장비 미리보기 — 조종석 GGsF-DiyC

작업 지시

조종간, 러더 페달, 스로틀, 모니터를 하나의 틀에 단단히 묶어 주는 게 조종석 **GGsF-DiyC**예요. 랜딩기어나 플랩, 시동 스위치처럼 자주 쓰는 기능은 버튼 상자로 더할 수도 있어요.

1권에서 PC방 철문 뒤에 있던 커다란 조종석, 기억나세요? 그 꿈에 한 걸음 다가가는 거예요. 유압 실린더는… 다음 기회에요.

따라 하기

1. 영상으로 GGsF-DiyC 구성과 제작 과정을 봐요.
2. 내 방에 놓을 자리를 상상해 봐요.

훈련생 질문

Q. 방이 좁은데 괜찮을까요?

티타 조종석은 책상 위에 올리는 작은 틀부터 시작할 수 있어요. 처음부터 큰 걸 만들 필요는 없어요. 한 조각씩 늘려 가면 돼요.

STEP 35

조종석 GGsF-DiyC 미리보기

▶ 제작 영상 · 조종석을 만들고 싶을 때

영상 코드 **4-035** · metapilots.kr/v/4-035

☐ **점검** ☐ 내 방에 맞는 조종석 크기를 정해 보았다

STEP 36 엔지니어 자격 테스트

작업 지시

여기까지 온 여러분, 정말 수고 많았어요. 마지막으로 세 가지 테스트를 준비했어요. 자격은 종이가 아니라 비행으로 증명하는 거니까요.

1. **정밀 테스트:** 시즌 1 계기 착륙에서 두 바늘의 십자를 가운데에 둔 채 끝까지 내려와 보세요.
2. **튼튼함 테스트:** 급한 선회를 열 번 이어서 해 보세요. 축이 틀어지거나 소리가 나지 않아야 해요.
3. **수리 테스트:** 동료에게 커넥터 하나를 몰래 뽑아 달라고 하세요. 조종간을 PC에서 뽑고, 멀티미터로 찾아 다시 연결해요. 10분 안에요. (동료가 두 개 뽑았다면 그건 반칙이에요.)

따라 하기

1. 세 테스트를 하나씩 해요.
2. 결과를 기록부에 적어요.
3. 세 가지를 모두 통과하면 책 뒤의 엔지니어 자격증에 이름을 적어요.

훈련생 질문

Q. 하나라도 실패하면 어떡하죠?

티타 다시 하면 돼요. 실패한 자리가 어디인지 알게 됐다면, 그것도 정비사로서 한 걸음 자란 거예요. 저는 여러분이 해낼 거라고 믿어요.

STEP 36

엔지니어 자격 테스트

▶ 제작 영상 · 실력을 확인하고 싶을 때

영상 코드 **4-036** · metapilots.kr/v/4-036

☐ **점검** ☐ 정밀 ☐ 튼튼함 ☐ 수리

EPILOGUE

엔지니어 파일럿

해가 기울어 공방 창가가 주황빛으로 물든다. 작업대의 공구를 하나씩 제자리에 걸며 티타가 말한다.

“처음 공방 문을 열고 들어왔을 때 기억나요? 나사 하나에도 손이 떨렸잖아요. 국수 괴물도 한두 마리쯤 키웠고요. 지금 여러분 책상 위에 있는 조종간, 여러분이 처음부터 끝까지 만든 거예요.”

티타가 조종간을 한 번 기울였다가 놓는다. 조종간이 ‘톡’ 하고 정확히 가운데로 돌아온다. 티타가 빙그레 웃는다.

“멋진 작품이네요. 세상에 하나뿐인.”

“이제 이 조종간이 아프면 여러분이 고칠 수 있어요. 손에 안 맞으면 여러분이 바꿀 수 있고요. 그게 직접 만든 장비를 가진 파일럿, **엔지니어 파일럿**이에요.”

“다음 장비는 러더 페달 GGsF_DiyR과 조종석 GGsF-DiyC예요. 제작 영상에서 만나요.”

“마지막 작업 지시예요. 이 조종간을 쥐고, 마음껏 날아요. 그리고 언젠가 처음 온 훈련생이 나사를 잃어버리고 쩔쩔매면, 오늘 제가 했던 것처럼 옆에서 말해 주세요.”

“천천히 해도 돼요. 대신 대충은 하지 않기로.”

– 메타파일럿 아카데미 정비 교관 티타 –

MetaPilot 4 · 조종장비 편 完

APPENDIX A

부품표와 연결표

GGsF_DiyS 한 대를 만드는 데 필요한 부품입니다. 규격과 판매처는 바뀔 수 있으니 **최신 정보는 제작 영상과 메타파일럿 자료실**에서 확인하세요. 확인 표시는 발행 전 확정할 항목입니다. 키트 길은 전자 부품이 키트 한 상자에 들어 있습니다.

구분	부품 · 규격	수량	구하는 곳
출력물	**짐벌 부품** PLA+, 속을 빽빽하게 확인: 권장 %	10	직접 출력 (도면)
출력물	**본체(받침대)** PLA+, 보통 채움(약 50%)	5	직접 출력 (도면)
출력물	**그립** PLA+, 보통 채움, 2색	5	직접 출력 (도면)
출력물	**버튼류** PLA+, 포인트 색	약 8종 확인	직접 출력 (도면)
재료	**필라멘트** PLA+ 2색 확인: 색·필요량	2롤	시중

구분	부품 · 규격	수량	구하는 곳
체결	**M3 나사** M3 × 8mm	10	시중
체결	**M3 나사** M3 × 10mm	8	시중
체결	**M3 나사** M3 × 12mm	4	시중
체결	**너트·인서트** 확인: 사용 여부·규격	확인	시중
기구	**인장 스프링** 선경 0.9mm 확인: 길이·외경	확인	시중
전자	**제어 보드** STM32F103C8T6 보드(일명 블루필) 확인 — 센서·확장보드 전원은 3.3V 핀	1	키트 / 시중
전자	**버튼 확장보드** GGsF_DiyS 키 확장보드(키트) 또는 74HC165 시프트 레지스터 보드	1 (74HC165는 칩 7개 상당) 확인	키트 / 시중
전자	**홀 센서 모듈** 게임패드(PS4 호환)용 홀 이펙트 조이스틱 모듈	확인: 1 또는 2	키트 / 시중
전자	**버튼·스위치** 푸시 버튼, 햇 스위치, 트리거 등 확인: 종류별 규격·개수	약 50	시중
전자	**듀퐁 케이블** 확인: 암/수·길이	확인	키트 / 시중

구분	부품 · 규격	수량	구하는 곳
전자	**USB 케이블** 데이터 통신용(충전 전용 X) 확인: 단자 형태	1	시중
도구	**업로더** ST-Link V2 (펌웨어를 처음 올릴 때 한 번)	1	시중
도구	**공구** 드라이버·육각 렌치, 정밀 니퍼, 스프링 걸이, 멀티미터 / (시장 길) 온도 조절 인두기·거치대, 실납, 플럭스, 피복 벗기개	—	시중

연결표 (STEP 13·16·18)

GGsF_DiyS 설정 파일과 같은 배치입니다. 정확한 핀은 설정 파일과 제작 영상을 따릅니다.

신호	종류	보드 핀	선 색
X축 (롤) 센서 출력	아날로그 입력	PA0 확인	노랑
Y축 (피치) 센서 출력	아날로그 입력	PA1 확인	노랑
센서 전원	전원	3.3V 핀 (5V 핀 금지)	빨강
센서 접지	GND	GND	검정
확장보드 데이터	디지털	확인	파랑

신호	종류	보드 핀	선 색
확장보드 클럭	디지털	확인	초록
확장보드 래치	디지털	확인	흰색
확장보드 전원 / 접지	전원 / GND	3.3V / GND	빨강 / 검정

GGsF_DiyS 분해 조립도 · 회로도

도면 삽입 영역 — 메타파일럿 자료실에도 함께 제공

APPENDIX B

제품과 자료 안내

본문은 오래 읽히도록 일반 이름만 씁니다. 실제 제품·프로그램·자료실 이름은 여기에 모았습니다. 제품과 판매처는 바뀔 수 있어, 이 표와 제작 영상을 계속 새로 고칩니다.

무엇 (본문 위치)	본문 표기	실제 이름 · 예 (2026년 10월 기준)
3D 프린터 (STEP 05~07)	소형 3D 프린터	Flashforge Adventurer 5M, Bambu Lab A1 계열로 시험. 출력 크기가 맞으면 다른 FDM 프린터도 가능
슬라이서 앱 (STEP 05~06)	슬라이서 앱	각 프린터 전용 슬라이서 (Flashforge 앱, Bambu Studio 등)
재료 (STEP 05)	PLA+	PLA+ 필라멘트 2색
제어 보드 (STEP 13)	제어 보드	STM32F103C8T6 보드(블루필). 호환 칩(CKS32·GD32 등)은 동작이 다를 수 있음
버튼 확장 칩 (STEP 15·18)	버튼 확장 칩	74HC165 시프트 레지스터 (키트: GGsF_DiyS 키 확장보드)
홀 센서 모듈 (STEP 14)	홀 센서 모듈	게임패드(PS4 호환)용 홀 이펙트 조이스틱 모듈

무엇 (본문 위치)	본문 표기	실제 이름 · 예 (2026년 10월 기준)
업로더 (STEP 21)	업로더	ST-Link V2
조종간 펌웨어 (STEP 21~25)	무료 공개 조종간 펌웨어 · 설정 프로그램	FreeJoy (오픈소스) · FreeJoy Configurator
게임 컨트롤러 확인 창 (STEP 23)	PC의 게임 컨트롤러 확인 창	Windows “USB 게임 컨트롤러 설정” (joy.cpl)
비행 앱 (STEP 26~28)	시즌 1·2·3 기체가 있는 비행 앱	1권 부록 D “비행 시뮬레이터 앱 안내” 참고 (시험: Microsoft Flight Simulator · IL-2 Sturmovik · DCS World)
메타파일럿 자료실 (STEP 05·22)	메타파일럿 자료실	GGsF_DiyS 도면(STL)·설정 파일: 메타파일럿 사이트 (metapilots.kr) · 메타파일럿 스토어(Gumroad)
제작 영상	STEP 카드의 영상	metapilots.kr/v (영상 코드 4-001~4-036)

이 책에 나오는 제품명은 각 소유자의 상표입니다.

APPENDIX C

정비 기록부

정비한 날짜와 내용을 짧게 적어 두세요. 기록은 정비사의 두 번째 기억이에요. 이쪽은 복사해서 써도 좋아요.

날짜	증상	원인	처치

날짜	증상	원인	처치

METAPILOT ENGINEER WING

엔지니어 자격증

이름	
장비	GGsF_DiyS 조종간
정밀 테스트	□ 통과
튼튼함 테스트	□ 통과
수리 테스트	□ 통과
날짜	

위 훈련생은 자기 손으로 조종간을 만들고, 고치고, 길들일 줄 아는 메타파일럿 엔지니어임을 인정합니다.

메타파일럿 아카데미 정비 교관 티타

“나에게 꼭 맞는 조종간은
세상에 없다.
그래서, 직접 만든다.”

수십만 원짜리 기성품에 내 손을 맞추던 시대는 끝났습니다.

누구나 살 수 있는 소형 3D 프린터와 시중 부품,
코딩 한 줄 없는 설정, 그리고 다정한 정비 교관 티타.
메타파일럿 표준 훈련 조종간 GGsF_DiyS를
36개의 STEP과 제작 영상으로 직접 만들어 보세요.

천천히 해도 돼요. 대신 대충은 하지 않기로.

3D 프린팅 · 짐벌 조립 · 배선·납땜 · 설정·영점 · 고장 수리