

시즌4 : 메타파일럿 조종장비

부제: 나만의 조종간 만들기 (Build Your Own Wings)



훈련생 여러분, 우리는 지금까지 수십만 원, 수백만 원을 호가하는 기성품 조이스틱을 구매하고, 그 장비에 '내 손을 맞춰가며' 비행해 왔다. 하지만 결과는 어떠했는가? 누군가는 버튼이 너무 멀어 짧은 손가락의 고통을 견뎌야 했고, 누군가는 스틱의 반발력이 너무 강해 정밀 조준의 순간에 결정적인 실패를 맛보아야 했다.

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

기성품은 전 세계 수백만 명의 '평균적인 손'을 위해 대량 생산된 물건일 뿐이다. 또한 특정, 항공기 조종간은 다른 항공기에는 부적합하다. 파일럿의 손바닥, 팔목의 힘, 스틱을 쥐는 감각도 저마다 다르다.

'직접 만든다'는 것은 내 손 마디마디의 굴곡에 맞춰 그립을 깎아내고, 내 엄지손가락이 가장 편안하게 안착하는 곳에 버튼을 배치한다는 의미다. 마치 맞춤 장갑을 끼듯 손에 착 감기는 조종간을 쥐었을 때, 파일럿은 마침내 기체와 완벽하게 하나가 될 수 있다.

탑승하려는 항공기에 적합한 조종 버튼과 스위치가 있다. 시선추적장비와 같은 비행 보조 장비를 위한 버튼도 필요하다. 내가 원하는 위치에 버튼과 스위치를 배열하고, 내가 가장 선호하는 장력으로 스프링을 튜닝하라.

자신이 좋아하는 디자인과 색감, 기체의 톤앤매너(Tone & Manner)에 어울리는

외형, 오직 나를 위해 설계된 ‘유일한 조종장비’를 손에 쥐고 비행한다는 것은 상상속에만 가능했다.

[M.P.T.O 04-10-01]

(Meta Pilot Technical Order: Flight Control System)

Part 0. 준비 (Preparation)

“정비사는 파일럿의 생명을 책임진다.”

- Chapter 01. 왜 직접 만드는가? (Introduction)
 - 1-1. 엔지니어 파일럿의 시작: 나에게 꼭 맞는 장비란?
 - 1-2. 조종간의 원리: 막대기가 어떻게 비행기를 움직일까?
 - 1-3. 3가지 핵심 원칙: 정밀하게, 안전하게, 책임감 있게

Chapter 02. 나만의 정비창 꾸미기 (Workspace)

- 2-1. 필수 도구 준비: 인두기부터 니퍼까지
- 2-2. 안전 수칙: 화상과 감전을 피하는 법
- 2-3. 작업 환경: 깔끔한 책상이 최고의 장비다

Part 1. 몸체 제작 (Hardware & Mechanics)

“튼튼한 뼈대가 좋은 비행을 만든다.”

- Chapter 03. 3D 프린팅 기초 (3D Printing)
 - 3-1. 재료 선택: 튼튼한 플라스틱 고르기 (PLA+ vs ABS)
 - 3-2. 튼튼하게 출력하기: 속은 얼마나 채워야 할까?
 - 3-3. 다듬기: 거친 표면을 매끈하게 만드는 사포질

Chapter 04. 조립과 조율 (Assembly)

- 4-1. 짐벌 조립: 상하좌우 움직임의 핵심 부품 만들기
- 4-2. 부드러운 움직임 만들기: 베어링 끼우기와 유격 없애기
- 4-3. 손맛 조절하기: 고무링과 스프링으로 장력 맞추기

Part 2. 전자 연결 (Electronics & Wiring)

“전선은 핏줄이고, 신호는 신경이다.”

- Chapter 05. 부품 이해하기 (Components)
 - 5-1. 두뇌: 아두이노 보드와 핀 번호 읽는 법
 - 5-2. 신경: 영구적으로 쓰는 홀 센서 vs 소모품 가변저항
 - 5-3. 버튼 연결: 복잡한 선을 줄이는 매트릭스 연결법

Chapter 06. 연결하고 납땀하기 (Soldering)

- 6-1. 납땀 잘하는 법: 동그랗고 반짝이게 녹이는 요령
- 6-2. 선정리: 꼬인 전선을 깔끔하게 묶는 법
- 6-3. 연결 확인: 소리로 확인하는 통전 테스트

Part 3. 소프트웨어 설정 (Software & Setup)

“죽어있는 플라스틱에 생명을 불어넣다.”

• Chapter 07. 생명 불어넣기 (Firmware)

- 7-1. 프로그램 준비: FreeJoy 설치와 설정
- 7-2. 업로드: 빈 칩셋을 ‘조이스틱’으로 깨우기
- 7-3. PC 연결 확인: 컴퓨터가 장비를 인식했는가?

Chapter 08. 영점 잡기 (Calibration)

- 8-1. 중심점 맞추기: 삐뚤어진 축 바로잡기
- 8-2. 반응 속도 조절: 손떨림 방지(데드존)와 민감도 설정
- 8-3. 실전 투입: 게임(DCS/MSFS) 연결과 키 설정하기

Part 4. 관리와 개조 (Maintenance & Upgrade)

“고장은 끝이 아니라, 정비의 시작이다.”

• Chapter 09. 고장 수리 가이드 (Troubleshooting)

- 9-1. 증상별 해결법: 조종간이 떨리거나 버튼이 안 될 때
- 9-2. 장비 관리: 기름칠(윤활)과 부품 교체 시기
- 9-3. 응급 처치: 비행 5분 전, 급하게 고치는 법

Chapter 10. 나만의 커스텀 (Upgrade)

- 10-1. 그립 개조: 내 손 크기에 딱 맞게 성형하기
- 10-2. 장비 확장: 러더 페달과 버튼 박스 추가하기
- 10-3. 최종 점검: 메타파일럿 엔지니어 자격 테스트

[부록: 정비 도면 및 자료]

- Appendix A. MK-1 전체 분해 조립도 (Exploded View)
- Appendix B. 전자 회로도 (Schematic Diagram)
- Appendix C. 3D 프린팅 권장 설정값 (Parameter Sheet)
- Appendix D. 정비 이력 기록부 (Maintenance Log)

PART 0. 준비 (Preparation)

CHAPTER 01. 왜 직접 만드는가?(Introduction)

1-1. 엔지니어 파일럿의 세계에 온 것을 환영합니다

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

본 교범은 시즌 1, 2, 3 훈련에 사용했던 [GGsF-조종장비]를 직접 제작하는 과정을 다룬다. 이 훈련 표준 장비를 만드는 과정을 통해 우리는 조종 장비를 만드는 기초를 마스터하게 될 것이다. 이 훈련이 끝나면 어떤 유형의 기체를 만나더라도, 그에 꼭맞는 ‘전용 조종장비’를 스스로 창조할 수 있는 능력을 갖추게 될 것이다.

이번 훈련 과정에서 조종간(Stick)이 아닌, 드라이버와 니퍼 그리고 인두기를 조종하는 법을 배우게 될 것이다.

1-2. 조종간이란? : 막대기가 어떻게 비행기를 움직일까?

조종간(Joystick)이란 무엇인가? 단순히 플라스틱 막대기가 아니다. 이것은 ‘파일럿의 의지’를 항공기에게 전달하는 정교한 컨트롤러(Controller)다. 작동원리는 다음과 같다.

1. **기계적 입력 (Mechanical Input):** 파일럿의 손으로 스틱을 당긴다. 이때, 조종간 짐벌(Gimbal)의 중심 축이 이동한다. 짐벌 구조의 부드러움과 스프링의 장력(Tension)이 조종 느낌이다.
2. **입력값 인식 (Electronic Conversion):** 짐벌 구조에 달린 센서(Sensor)가 축의 이동값을 전압의 변화로 인식한다. 센서는 가변저항이나 자석을 활용한 ‘홀 센서(Hall Sensor)’를 사용한다.
3. **전압값 처리 (Digital Processing):** 마이크로 컨트롤러가 센서의 전압값을 읽어 PC로 전송한다.

이 3단계 중 하나라도 어설프면 기체는 추락한다. 짐벌 기구부가 뻑뻑하면 정밀 조종이 불가능하고, 센서가 불안하면 기체가 오동작한다. 이번 조종장비 제작 훈련에서는 이 모든 과정을 ‘직접 설계하고 조율’한다.

1-3. 엔지니어의 핵심 원칙

(The 3 Principles of Meta Pilot Engineering)

이 교범을 펼친 이상, 다음 3가지 원칙을 정비창(책상) 머리맡에 붙여두고 작업에 임하라.

제1원칙: 정밀 (Precision)

“대충은 없다. 전자가 움직이는 미시세계에서 1mm는 태평양만큼 넓다.” 측정하고, 또 측정하라.

제2원칙: 안전 (Safety)

“다치지 마라. 정비도 안전이 제일이다. 인두기의 온도는 350도다.
초보자는 무납땜 조립 키트를 추천한다. 정비사의 안전이 곧 기체의 안전이다.”

제3원칙: 책임 (Responsibility)

“기체가 쏠리는가? 센서의 중심을 잘못 잡은 것이다. 버튼이 안 눌리는가? 납땜이 떨어진 것이다.
내가 만든 작품을 타인이 쓸 수 있도록 만들자.”



[티타 교관의 한마디]

“준비됐으면 책상을 정리하자. 정리는 엔지니어링의 시작이자 끝이다. 혼란스러운 책상에서는 혼란스러운 작품만 나올 뿐이다.”

CHAPTER 02. 나만의 정비창 꾸미기 (Workspace)

2-1. 필수 공구 준비 : 드라이버부터 인두까지 (Essential Tools & Instruments)

“목수는 연장을 탓하지 않는다.”

훌륭한 파일럿에게 좋은 비행기가 필요하듯, 능숙한 엔지니어에게는 믿을 수 있는 공구(Tool)가 필요하다. 메타파일럿 조종간을 만드는 작업은 간단하다. 다음은 정비창의 준비 품목(Standard Issue)이다.

A. 납땜 도구 (Soldering Gear)

- 온도 조절형 인두기 (Soldering Station):
 - 처음 도전한다면 다이소의 5천원짜리 인두기도 가능하다.
 - 실납 (Solder Wire):
 - 유연납으로 두께는 0.8mm~1.0mm가 적당하다.

플럭스 (Flux):

- 납이 착! 달라붙게 하는 마법의 액체다. 초보자일수록 필수다.

B. 전선 도구 (Cutting & Stripping)

- 정밀 니퍼 (Precision Nippers):
 - 공작용 얇은 니퍼. 전선을 자르고, 3D 출력물의 지지대(Support)를 제거할 때 쓴다. 손톱깎이는 절대 금지다.

와이어 스트리퍼 (Wire Stripper):

- 전선 피복만 깔끔하게 벗겨내는 도구. 이빨로 물어뜯지 마라. 치아도 다치고 전선도 다친다.

C. 측정 도구 (Measurement)

- 멀티미터 (Multimeter):
 - 버튼을 눌렀을 때 전기가 흐르는지, 전압이 몇 볼트인지 숫자로 보여준다.
 - ‘삐-’ 소리가 나면 잘 연결된 것이다. 이 소리는 엔지니어에게 가장 아름다운 음악이다.

2-2. 안전 수칙 : 화상과 감전을 피하는 법 (Safety Protocols)

“화상은 훈장이 아니다. 부주의의 증거일 뿐이다.”

정비장은 위험하다. 인두기의 350도의 고열과 전기가 공존한다. 다음 수칙을 어기면 정비장 출입을 금한다.


1. 환기 (Ventilation): 납땀할 때 나오는 연기(Fume)는 송진과 납 증기다. 몸에 좋을 리가 없다. 창문을 열거나, 소형 팬(Fan)을 돌려 연기를 밖으로 빼내라. 폐는 필터가 아니다.
2. 인두기 거치 (Iron Stand): 인두기를 책상 위에 대충 올려두지 마라. 구르는 순간 허벅지나 장판을 태울 것이다. 반드시 전용 스탠드에 꽂아라.
3. 보호구 (PPE): 니퍼로 전선을 자를 때, 잘린 파편이 눈으로 날아 올 수 있다. 보안경(Goggles)을 쓰거나 눈을 감고 잘라라. 농담이 아니다.

2-3. 작업 환경 : 깔끔한 책상이 최고의 장비다 (Workspace & FOD Prevention)

“책상이 어지러우면 머릿속도 어지럽다.”

항공 정비에서 가장 무서운 적은 FOD (Foreign Object Debris), 즉 외부 이물질이다. 엔진 속에 들어간 나사 하나가 전투기를 추락시킨다. 조종간 내부도 마찬가지다.

1. 작은 부품 (small parts): 작은 부품이나 나사는 바닥에 떨어지면 절대 찾을 수 없다. 4차원 공간으로 사라진다.
2. 조명 (Lighting): 책상 스탠드를 최대한 밝게 켜라. 부품이 잘 보이고 그림자가 지지 않게 하라.
3. 정전기 방지 (ESD): 전자부품은 정전기에 약하다. 겨울철 니트(Knit)를 입고 작업하지 마라. 작업 전 책상의 금속 부분을 한 번 만져서 몸의 전기를 빼라.

[ 티타 교관의 한마디]

“정비창이 준비되었는가? 장비가 없다고? 걱정 마라. 메타과일렛 키트(MK-1)에 필수 부품은 다 들어있다.

PART 1. 몸체 제작(Hardware & Mechanics)

CHAPTER 03. 3D 프린팅 기초(3D Printing)

3-1. 튼튼한 플라스틱 재료 (PLA+ vs ABS) (FDM Principles & Material Selection)

“3D프린터는 글루건을 장착한 프린터다. 플라스틱을 녹여서 원하는 위치에 분사하여 출력물을 쌓아올리는 예술이다.”

국수 같이 가늘게 만든 플라스틱을 3D프린터의 재료로 사용한다. 이 가느다란 플라스틱을 뜨거운 노즐(200°C 이상)에 넣고 녹여서 분사한다. 바닥부터 한 층 한 층(Layer by Layer) 쌓아 올리며 출력물을 만드는 방식이다. 이런 인쇄 방식을 FDM (Fused Deposition Modeling, 용융 적층 모델링)이라고 부른다.

이 방식의 중요한 것은 ‘재료(Material)’다. 전투기에 아무 연료나 넣을 수 없듯이, 작품에 맞는 재료를 써야 한다.

A. 필라멘트 PLA+ (Polylactic Acid Plus)

- **특징:** 옥수수 전분 등으로 만든 친환경 소재에 강화제를 섞었다. 출력이 쉽고, 냄새가 적으며, 강도(Stiffness)가 매우 뛰어나다.
- **장점:** 초보자가 다루기 가장 쉽다. 베드 안착이 잘 되고 수축이 적어 실패 확률이 낮다.
- **단점:** 열에 약하다. 60°C가 넘어가면 물렁해진다. (한여름 차 안에 두면 흰다. 주의!)
- **결론:** MK-1 조종간의 주력 소재다. 특별한 이유가 없다면 이것을 사용하라.

B. 필라멘트 ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene)

- **특징:** 레고 블록이나 자동차 범퍼에 쓰이는 석유 화학 소재. 질기고 열에 강하다 (100°C까지 버텨).
- **장점:** 내열성이 좋고, 아세톤 훈증(Vapor Smoothing)으로 표면을 사출품처럼 매끈하게 녹일 수 있다.
- **단점:** 출력 난이도가 ‘헬(Hell)’이다. 수축이 심해 잘 떨어지고, 유독 가스 냄새로 환기 장비나 챔버(밀폐 공간)가 필수다.
- **결론:** 정비창 환경이 갖춰진 숙련된 엔지니어만 시도하라.

3-2. 튼튼하게 출력하기 : 속은 얼마나 채워야 할까?

(Slicing Strategy: Calculating Strength)

“다운로드한 ‘조종간 STL 파일’은 3D프린터로 인쇄할 수 있도록 모델링된 파일이다. 출력물의 속을 얼마나 채울지에 따라 튼튼함이 결정된다.”

3D프린터 프로그램으로 인쇄하면 출력된다. 조종간 손잡이는 거칠게 잡아당기는 힘을 버텨야 한다. 인형 피규어 뿔듯이 속을 비워서 출력하면 비행 중에 ‘뚝’ 부러진다.

A. 내부 채움 (Infill Density) : 기체의 골격

- 모든 출력물의 내부를 꼭 채울 필요는 없다. 인쇄 시간과 재료 낭비다.
- **권장 설정:** 조종간 외형은 30% 정도면 충분하고 손잡이 연결봉은 50%로 하면 튼튼하다.

B. 서포트 (Support) : 지지대

- 적층 프린터는 바닥부터 쌓아 올리는 방식이므로 지지대가 필요한 출력물도 있다
- **예제:** 예를들어, 양팔을 벌린 피규어의 경우 팔 밑은 허공이므로 인쇄가 불가능하다.
- **방법:** 피규어의 양팔 아래에 지지대를 세워서 인쇄한다.


3-3. 다듬기 : 거친 표면을 매끈하게 만드는 사포질

(Troubleshooting & Post-Processing)

“3D프린터는 완벽하지 않다. 그 불완전함을 메우는 것이 정비사의 손길이다.”

후가공 (Sanding) : 감성 품질의 완성

- 손에 닿는 그립 부위가 까칠하면 비행 집중력이 떨어진다. 매끈하게 다듬어라.
- 사포질(Sanding): 부드러운 사포에 물을 묻혀 갈아내라.
- 정성이 물을수록 조종간은 점점 더 완벽하게 만들어진다. 이것이 커스텀의 묘미다.

[ **티타 교관의 한마디**] “인쇄 버튼을 누르고 작품을 기다리는 것. 그것도 훈련의 일부다. 자고 일어났는데 출력물이 국수처럼 엉킨 괴물이 되어 있어도 좌절하지 마라. 그것이 엔지니어의 세계다. 조종장비 훈련 영상을 보고 해결하라.”

CHAPTER 04. 조립과 조율(Assembly)

4-1. 짐벌 조립 : 상하좌우 움직임의 핵심 부품 만들기 (Understanding Gimbal Systems: Freedom of Movement)

조종간의 핵심은 ‘짐벌(Gimbal)’이다. 짐벌은 두 개의 회전축이 십자(+) 형태로 움직이도록 만든 구조로, 조종간이 전후좌우 뿐만 아니라 360도 모든 방향으로 움직일 수 있게 해주는 장치다.

A. X축과 Y축 (Axis Separation)

- **롤(Roll & Aileron):** 조종간을 좌우로 움직이는 X축. 비행기를 기울인다.
- **피치(Pitch & Elevator):** 조종간을 당기거나 밀 때 움직이는 Y축. 기수를 들거나 내린다.
- 각 축에 센서를 연결해서 움직이는 범위값을 알 수 있다 .

B. 센터의 중요성 (The True Center)

- 손을 놓았을 때, 조종간은 정확히 물리적 중심(Center)으로 돌아와야 한다.
- 이 ‘물리적 0점 기준’이 틀어지면 비행기는 한쪽으로 기울어진다. 조립할 때 축이 비뚤어지지 않게 수직/수평을 맞추는 것이 정비사의 실력이다
- 구동 부위의 맞물린 부품은 부드럽게 움직이도록 다듬는다.

4-2. 부드러운 움직임 만들기 : 구리스와 유격 없애기

(Bearings & Backlash: The War on Friction)

“플라스틱끼리 비비면 갈린다. 마찰을 없애라.”

A. 구동 부위 다듬기

구동 부위의 맞물린 부품이 움직이면 ‘끼익-끼익’ 소리가 나고, 금방 헐거워진다. 거친면을 다듬는다. (필요시 구리스를 바른다)

B. 유격(Backlash) 제로에 도전하라

- **유격이란?** 조종간을 움직였는데 실제 축은 움직이지 않는 ‘죽은 구간’이다.
- 유격이 있으면 정밀 사격이 불가능하다. (홀 센서로 해결한다)

4-3. 손맛 조절하기 : 고무링과 스프링으로 장력 맞추기

(Tension Tuning: The Feel of Flight)

“너무 가벼우면 장난감 같고, 너무 무거우면 팔이 아프다. 그 사이 어딘가에 ‘파일럿의 감각’이 있다.”

조종간을 당겼을 때 느껴지는 묵직한 저항감, 그리고 놓았을 때 중앙으로 복귀하는 힘. 이것을 ****텐션(Tension)****이라 한다.

A. 스프링

- **금속 스프링:** 내구성이 좋고 굵기로 장력을 조절한다.
- **실리콘 O-링:** 끈적한 느낌(Damping)을 준다. 굵기나 고무줄 갯수로 장력을 쉽게 조절할 수 있다.

B. 튜닝 가이드 (Customizing)

- **전투기 모드 (Heavy):** 급격한 기동을 막고 정밀 조준을 위해 텐션을 강하게(고무

링 2~3개) 건다.

- **민항기/헬기 모드 (Light):** 부드러운 조작을 위해 텐션을 약하게(고무링 1개) 건다.
- 비행 스타일에 맞춰 텐션을 조절한다. 정해진 답은 없다. 손이 편한 게 정답이다.

[티타 교관의 한마디]

“조립이 끝났는가? 짐벌이 중심축을 유지하는가? 눈을 감고 스틱을 돌려보라. 정 위치에 있고 아무런 걸림 없이, 기름 위를 미끄러지듯 부드럽게 비행기가 조종되어야 한다. 그 ‘무저항의 감각’이 바로 엔지니어링의 승리다.”

PART 2. 전자 연결 (Electronics & Wiring)

CHAPTER 05. 부품 이해하기 (Components)

5-1. 두뇌 : 마이크로 컨트롤러 와 핀 번호 읽는 법 (Microcontroller Architecture: The Brain)

“조종간에 전선만 연결한다고 비행기가 움직이지 않는다.”

조종간의 두뇌에 해당하는 ‘마이크로 컨트롤러(Micro Controller Unit, MCU)’는 입력데이터를 처리하고 PC와 대화할 수 있다.

A. 아두이노 또는 STM32

- 교육용 MCU는 아두이노를 사용하지만 이 교범에서는 freejoy 오픈소스를 활용할 수 있도록 STM32를 사용한다.
- 별도의 드라이버 설치 없이 PC에 연결하면 바로 조이스틱으로 잡힌다.

B. MCU 핀 (Pin-out) 해석

- **VCC 핀** : 플러스(+) 전원. 빨간 선 연결
- **GND 핀** : 그라운드(-) 접지. 검은 선 연결. (모든 전기는 VCC에서 나와 GND로 연결된다.)
- **Analog 핀**: 아날로그 축(Axis) 신호를 받는 곳. (0~1023 사이의 변화값)
- **Digital 핀**: 디지털 버튼(Button) 신호를 받는 곳. 눌림(1)과 안 눌림(0)만 구분한다.

5-2. 센서 : 영구적으로 쓰는 흠 센서 (Sensor Engineering: Goodbye Friction)

“가변저항은 라디오 볼륨 조절할 때나 써라. 우리는 전투기를 몬다.”

조종간의 움직임 범위를 바꾸는 방법은 두 가지다.

A. 가변저항 (Potentiometer) : 구식 기술

- 장점: 가격이 싸고 볼륨 조절처럼 범용으로 사용한다.
- 단점: 유격이 발생하면 정밀한 측정값을 구하기 어렵다

B. 홀 센서 (Hall Effect Sensor) : 정밀 표준

- 원리: 자석의 자기장 세기를 감지한다. 서로 닿지 않는다(Non-contact).
- 장점: 마찰이 없다. 마모도 없다. 이론상 수명이 '무한대' 다. 그리고 미세한 움직임도 나노 단위로 잡아낸다.

5-3. 버튼 연결 : 복잡한 선을 줄이는 매트릭스 연결법 (Digital I/O & Anti-Ghosting)

“버튼을 동시에 눌렀는데 엉뚱한 키가 입력된다면? “

버튼이 많아지면 MCU 핀의 개수가 부족해진다. 이때 시프트 레지스터 확장보드를 사용해서 해결할 수 있다.

A. 74HC165 확장보드

- 입력 키를 24개까지 확장할 수 있다.
- 쉽게 구할 수 있다.

B. M1 키트 확장보드

- 플러그 & 플레이 방식으로 작동한다.
- 배선 작업이 쉽다.
- 시중에 판매되지 않고 M1 키트에서 제공하는 보드다.



[티타 교관의 한마디]

“전자회로를 모두 이해할 필요없다. 전기는 물처럼 높은 곳(VCC)에서 낮은 곳(GND)으로 흐른다는 정도만 알면 된다. 우리는 조종간 개발에 필요한 지식과 배선 작업만 잘 하면 된다.”

CHAPTER 06. 연결하고 납땀하기(Soldering)

6-1. 납땀 잘 하는 법 : 동그랗고 반짝이게 녹이는 요령 (The Art of Soldering: Wetting, Not Sticking)

“납땀은 ‘풀’로 붙이는 게 아니다. 납을 ‘녹여서’ 붙이는 것이다.”

초보자들은 인두기로 납 부터 녹여서 부품 위에 붙이는데 이걸 ‘똥납’이다. 이렇게 붙이면 납이 떨어진다. 진정한 납땀은 ‘젖음(Wetting)’ 현상을 만드는 것이다. 납은

뜨거운 곳에 잘 붙는다.

A. 납땜 순서

1. 가열 (Heat): 인두기로 납을 붙이려는 부품에 댄다.
2. 접착 (Solder): 뜨거워진 부품에 납을 갖다 댄다. 납이 스르르 녹으면 부품에 붙는다.
3. 이탈 (Egress): 납을 먼저 떼고, 인두기를 떼낸다.

B. 플럭스 사용

- 부품에 플럭스를 바르면 쉽게 납땜이 된다.

6-2. 배선 작업 : 전선을 깔끔하게 연결하는 법 (Wiring Harness & Cable Management)

“전선이 엉켜 있으면 생각도 엉킨다.”

조종간 뚜껑을 열었을 때, 라면 사리처럼 꼬인 전선 뭉치가 튀어나오면 하수다. 고수는 보이지 않는 곳을 더 아름답게 정리한다.

A. 색상의 약속 (Color Coding)

- 빨강: VCC (5V). 모든 전선의 출발역이다.
- 검정: GND (접지). 모든 전선의 종착역이다.
- 흰색/노랑/(파랑/초록): 디지털선, 아날로그선, (그 외 연결신호선)
- 이 약속을 어기면, VCC 와 GND 선을 거꾸로 연결해서 보드가 고장날 수 있다.

6-3. 연결 확인 : 소리로 확인하는 소통 테스트 (Connectors & Continuity Check)

납땜만 했다고 끝이 아니다. 부품이 전선과 잘 연결됐는지 확인할 수 있다.

A. 듀퐁 커넥터 (Dupont Connector)

- 모든 선을 기판에 직접 납땜하면, 나중에 수리할 때 전선을 다 끊어야 한다.
- 커넥터를 사용하라. ‘딸각’ 소리와 함께 끼우고 뺄 수 있어야 진정한 정비성 (Maintainability)이 확보된다.

B. 멀티미터 통전 시험 (Continuity Test)

- “삐-“
- 이 소리가 들려야 비로소 부품이 회로에 연결된 것이다. 소리가 안 나가나 끊기면? 다시 납땜해라. 타협은 없다.

[티타 교관의 한마디]

“납땜하다가 손가락을 데었는가? 축하한다. 장갑을 착용하지 않은 엔지니어의 관문이다. 시간이 지나면 비행기를 더 깊게 이해하게 될 것이다. 조종간은 컴퓨터의 키보드나 마우스처럼 단순한 입력 장치다.”

PART 3. 제어소프트웨어 (Software & Setup)

CHAPTER 07. 생명 불어넣기 (Firmware)

7-1. 프로그램 준비 : FreeJoy 설치와 설정 (The FreeJoy Revolution: No-Code Development)

“엔지니어는 도구를 만드는 사람도 있고 도구를 정복하는 사람도 있다.”

과거의 소프트웨어 엔지니어들은 아두이노 IDE창에 void setup()을 코딩하며 밤을 새웠다. 하지만 우리는 메타파일럿이다. FreeJoy라는 오픈소스 도구를 사용해서 조종간에 영혼을 심을 것이다.

- **GUI 기반:** 검은 화면에 흰 글씨(코드)는 없다. 버튼을 눈으로 보며 마우스로 할당한다.
- **실시간 반응:** 설정을 바꾸고 ‘Write’ 버튼만 누르면 즉시 적용된다.
- **고해상도 지원:** 아날로그 신호를 12비트(4096단계) 이상의 초정밀 해상도로 처리한다.

7-2. 업로드 : 빈 깡통을 ‘조이스틱’ 으로 깨우기 (Soul Injection: Flashing the Firmware)

“빈 깡통인 MCU의 칩셋(Chipset)을 깨워라. ‘너는 이제부터 조이스틱이다’라고 명명하는 의식이다.”

공장에서 갓 나온 마이크로 컨트롤러(MCU)는 깡통이다. FreeJoy의 펌웨어 파일(.bin)을 MCU 칩셋에 이식하는 과정을 ‘플래싱(Flashing)’이라고 부른다.

1. **ST-Link 연결:** 전용 업로더(ST-Link V2)를 보드의 핀(SWCLK, SWDIO)에 연결한다.
2. **STM32CubeProgrammer 실행:** 이 프로그램은 영혼 주입기다. ‘Connect’를 누르고 펌웨어 파일을 선택한다.
3. **Download:** 초록색 바가 차오르며 ‘Download complete’가 뜨는 순간, ‘조이스틱’으로 다시 태어난다.

7-3. PC 연결 확인 : 컴퓨터가 장비를 인식했는가? (Pin Mapping & Configuration)

이제부터 FreeJoy의 Configurator 프로그램을 사용해서 조종간의 각 축과 각 종 버튼의 기능을 설정할 수 있다.

A. 축(Axis) 설정 : 아날로그의 정의

- 센서를 연결한 핀(예: A0)을 선택한다.
- 이 신호를 PC에서 무엇으로 인식할지 정한다 (예: X축, Y축, 스톱).

B. 버튼(Button) 설정 : 디지털의 정의

- 시프트 레지스터 칩(74HC165) 확장보드가 확인되면 클릭 한 번으로 활성화된다.
- 버튼 하나를 누르거나 'A키'와 'B키'가 동시에 눌러지게 하거나, '길게 누르기(Long Press)' 기능을 넣을 수도 있다.

C. Save to Flash : 완료

- 모든 설정이 끝났으면 [Write to Device] 버튼을 눌러라.
- 이것으로 설정값은 조종간에 영구히 저장된다.

[티타 교관의 한마디]

“어떤가? 코딩 한 줄 없이 우리는 전문가급 조종 장비를 완성했다. 비행하기 전에 PC에서 조종간을 한번 더 점검(Calibration)하고 테스트 비행을 하자.”

CHAPTER 08. 영점 잡기 (Calibration)

8-1. 중심점 맞추기 : 빼놓어진 축 바로잡기 (Raw Data Analysis & Center Pointing)

“숫자는 거짓말을 하지 않는다. 눈을 믿지 말고 데이터를 믿어라.”

조립된 조종간을 책상 위에 가만히 두어라. 그리고 화면 속 수치를 보라. 가운데에 있다고 생각했는데, 수치는 2048(중앙값)이 아니라 2100이나 1950을 가리키고 있을 것이다. 이것은 고장이 아니다. 기계적인 오차다.

A. 중심축 0점 조정하기 : 캘리브레이션 (Center Calibration)

- 우리는 조종간의 중심 축을 '여기가 진짜 중앙이다'라고 인식해줘야 한다.
- freejoy 또는 Windows 제어판에서 설정할 수 있다.

B. 끝단 보정 (Min/Max Limits)

- 스틱을 끝까지 당겼는데 수치가 100%에 도달하지 않는다면? 끝 범위를 인식시켜줘야 한다.
- freejoy 또는 Windows 제어판에서 설정할 수 있다.

8-2. 반응 속도 조절 : 떨림 방지(데드존)와 민감도 설정 (Deadzone & Response Curves)

“손은 떨린다. 기계는 정직하다. 그 사이의 완충지대를 만들어라.”

인간의 손은 완벽하지 않다. 가만히 잡고 있어도 미세하게 떨린다. 이 떨림이 그대로 비행기에 전달되면 기체는 끊임없이 반응한다.

A. 데드존 (Deadzone) : 침묵의 구간

- 중앙(Center) 부근에서 아주 작은 입력은 무시하는 구간이다.
- **권장값:** 1% ~ 3%.

B. 반응 곡선 (Response Curve / S-Curve)

- 직선(Linear)이 항상 정답은 아니다.
- **S자 곡선:** 중앙 부근에서는 둔하게(정밀하게), 끝으로 갈수록 민감하게 반응하도록 설정한다.
- 공중급유나 편대비행처럼 초정밀 조작이 필요할 때는 중앙 감도를 낮추는 ‘커브 튜닝’을 할 수 있다.

8-3. 실전 투입 : 비행시뮬레이션 연결과 키 설정하기

(Simulator Integration & Binding)

“하드웨어와 소프트웨어가 악수하는 순간.”

마침내, 제작한 조종간을 비행 시뮬레이션과 연결한다. 이 과정을 ‘바인딩(Binding)’이라 한다. 이 바인딩은 각 훈련 항공기에 맞도록 미리 설정된 프로파일을 적용할 수 있다.

A. 축 설정 (Axis Assignment) 및 버튼 할당

- 시뮬레이터 설정 메뉴에서 Roll, Pitch, Throttle 항목을 찾는다.
- 조종간에 할당하라.

[캡틴의 한마디] “그래프가 아름다운 S자를 그리는가? 십자가가 정중앙에 꽂히는가? 축하한다. 이제 ‘0’과 ‘1’의 엔지니어의 세계를 정복했다. 이제 남은 것은 비행뿐이다. 아니, 잠깐. 혹시 비행 중에 나사가 풀리거나 단선이 되면 어떡할 텐가? 진정한 정비사는 ‘고장’까지 대비한다. 마지막으로 [PART 4. 예방 정비 및 고장 배제] 훈련 과목이 남았다.”

PART 4. 유지보수 (Maintenance& Upgrade)

CHAPTER 09. 고장 수리 가이드 (Troubleshooting)

9-1. 증상별 해결법 : 조종간이 떨리거나 버튼이 안 될 때 (Diagnosis by Symptom)

“증상은 결과일 뿐이다. 원인은 보이지 않는 곳에 숨어 있다.”

가장 흔하게 발생하는 3대 질환과 처방전이다.

A. 축 떨림 (Jittering / Spiking)

- **증상:** 조종간은 가만히 있는데 화면 측은 미친 듯이 파르르 떠다.
- **원인: (전기적):** 접지(GND) 불량이다. 케이블 핀이 헐겁거나, 선이 꼬여서 노이즈를 타는 것이다.
- **처방:** 배선을 다시 정리하고(Shielding), 센서와 자석을 단단히 고정하라.

B. 인식 불가 (Device Not Recognized)

- **증상:** USB 케이블을 컴퓨터에 꼽았는데 “알 수 없는 장치”라고 뜨거나 아무 반응이 없다.
- **원인:** MCU 전원이 켜졌는지 확인한다. USB 케이블 불량 또는 MCU 고장이다.
- **처방:** 편의점에서 파는 데이터 통신용 케이블로 교체해 본다. 그래도 안 되면 보드 사망이다. 교체하라.

C. 고스팅 (Ghosting) / 버튼 오작동

- **증상:** 버튼을 눌렀는데 다른 버튼도 같이 눌린다.
- **원인:** 키 설정을 확인하고 아니라면 배선 작업에서 합선(Short) 되었다.
- **처방:** 멀티미터로 불량 부품을 확인한다. 버튼을 누르지 않았는데 소리가 나면 그게 범인이다.

9-2. 장비 관리 : 기름칠(윤활)과 부품 교체 시기

(Replacement Cycle & Lubrication)

“기름칠하지 않은 기계는 쇠가 우는 소리를 낸다. 그것은 고통의 비명이다.”

A. 권장 윤활제 : 실리콘 구리스 / 테프론(PTFE) 구리스

- 플라스틱 기어용, 또는 키보드용 구리스(Super Lube 등)를 써라.
- **주기:** 움직임이 거칠어질 때.
- **포인트:** 짐벌의 마찰면에 ‘쌀알만큼’ 짜서 발라라. 많이 바르면 먼지만 낀다.

B. 텐션 링 교체

- 실리콘 O-링은 소모품이다. 오래 쓰면 늘어나서 장력이 약해진다.
- 비행 감각이 헐거워졌다면 고무링을 새것으로 교체해라. (이것이 MK-1 키트에 여분의 링이 들어있는 이유다.)

9-3. 응급 처치 : 비행 5분 전, 급하게 고치는 법

(Field Repair Kit Operation)

“전장 한복판에서 인두기를 찾을 수는 없다. 최소한의 생존 도구를 챙겨라.”

책상 서랍, 혹은 조종간 바닥 판(Base Plate) 아래에 다음 물품을 비상용으로 테이블핑해 두어라.

1. **미니 드라이버:** 나사가 풀리면 언제든 조일 수 있어야 한다.
2. **홀 센서:** 여분의 홀 센서르 보유하고 필요시 교체한다.
3. **점퍼 와이어:** 헐겁거나 끊어진 선을 교체한다.

4. 케이블 타이: 덜렁거리는 케이블을 고정할 때 쓴다

[캡틴의 한마디] “고장을 두려워하던 시절은 끝났다. 이제 소리를 듣고, 냄새를 맡고, 만져보는 것만으로 아픈 곳을 찾아내는 ‘기계적 주치의’다. 고치지 못할 고장은 없다. 부품만 바꾸면 그만이니깐. 이것은 엔지니어 파일럿이 장점이다.”

CHAPTER 10. 나만의 커스텀 (Upgrade)

10-1. 그립 개조 : 내 손 크기에 딱 맞게 (Grip Customization: Ergonomics)

“기성품은 ‘평균적인 손’을 위해 만들어졌다. 하지만 내 손은 평균이 아니다.”

MK-1의 기본 그립은 훌륭하지만, 완벽하지 않을 수 있다. 손이 큰 사람, 작은 사람, 손가락이 긴 사람... 모두 다르기 때문이다.

A. 클레이 프로토타이핑 (Clay Prototyping)

- **준비물:** 다이소 점토(Clay) 또는 퍼티.
- **방법:** 출력된 그립 위에 점토를 붙이고, 비행 자세로 꼭 쥐어보라. 자네의 손가락 마디, 엄지 위치가 점토에 그대로 찍힌다.
- 굳은 점토의 모양대로 3D 모델링을 수정하거나 스캔해서 출력하라.

B. 조종간 손 받침대 (Stippling) : 높낮이 조절

- 조종간이 받침대의 높낮이를 내 손 크기에 맞게 출력해서 조립한다
- 일반적으로 받침대 높낮이를 조절해도 충분하다.

10-2. 장비 확장 : 러더 페달과 버튼 박스 추가하기

(Expansion Modules: Building an Ecosystem)

“조종간은 시작일 뿐이다. 러더와 스톱틀이 합쳐져야 비로소 조종 장비가 완성된다.”

그리고, 조종석 제작에도 도전하라.

A. 러더 페달 (Rudder Pedals) 제작

- 비행 조종의 완성은 발(Foot)이다.
- 러더 STL 파일을 다운로드 하고 장비 키트를 구매해서 러더 페달을 만들 수 있다.

B. 조종석 만들기 (Cockpit)

- 랜딩기어, 플랩, 시동 스위치...그 외 자주 사용하는 기능을 조종간에 할당하라.
- 알루미늄 프로파일을 조립하고 모터나 계기판을 추가해서 나만의 전투기 조종석도 만들 수 있다.

10-3. 최종 점검 : 메타파일럿 엔지니어 자격 테스트

(The Qualification Test)

“자격은 종이 쪼가리가 아니다. 비행 실력으로 증명하라.”

이 모든 과정을 수료했는가? 그렇다면 다음의 테스트를 수행하라.

1. **정밀도 테스트:** 공중급유(Aerial Refueling)를 시도하라. 붐(Boom)과 급유구가 1분 이상 연결을 유지해야 한다.
2. **내구성 테스트:** 급격한 기동(High-G Turn)을 10회 연속 수행하라. 축이 틀어지거나 부품 소음이 없어야 한다.
3. **수리 테스트:** 눈을 감고 조종간을 분해했다가 다시 조립하라. (제한 시간: 10분)

이 3가지를 통과했다면, ‘메타파일럿 엔지니어 윙(Wing)’ 자격증을 수여해서 조종장비 엔지니어로 활동할 수 있다.

[EPILOGUE]

부제: 정비장의 불은 꺼지지 않는다

훈련생 여러분. 이제 정비 교범을 덮을 시간이다.

처음 이 교범을 펼쳤을 때를 기억하는가? 조종 장비를 직접 만든다는 것은 꿈에도 생각하지 않았을 것이다. 그저 제조업체가 만든 고가의 차가운 장비를 당연히 써야 했을 것이다.

하지만 지금 눈 앞의 작품을 보라. 연마와 도색을 한 세상에 단 하나뿐인 나만의 실제 조종간이 놓여 있다.

이제 더 이상 장비 탓을 하지 않을 것이다. 조종간이 흔들리면 고치면 되고, 부족하면 추가해서 만들면 된다. 이 조종간을 잡고 하늘로 날아오를 때마다 기억하라. 정성들인 납땀과 사포질과 조립의 긴 시간이 녹아 있다는 것을.

비행은 자유다. 그리고 그 자유를 완성하는 힘은, 바로 도전과 노력에서 나온다.

우리는 하늘에서 다시 만날 것이다. 그리고 언젠가, 직접 설계한 MK-2, MK-3 키트를 들고 정비장을 찾아오기를 기다리겠다.

이상. 정비 끝. 출격하라.

- 메타파일럿 정비 교관 티타 -

[부록: 정비 이력 기록부 (Maintenance Log)]

(빈 양식 페이지: 날짜 / 정비 내용 / 비고)

Season 4 조종장비 완결(完).