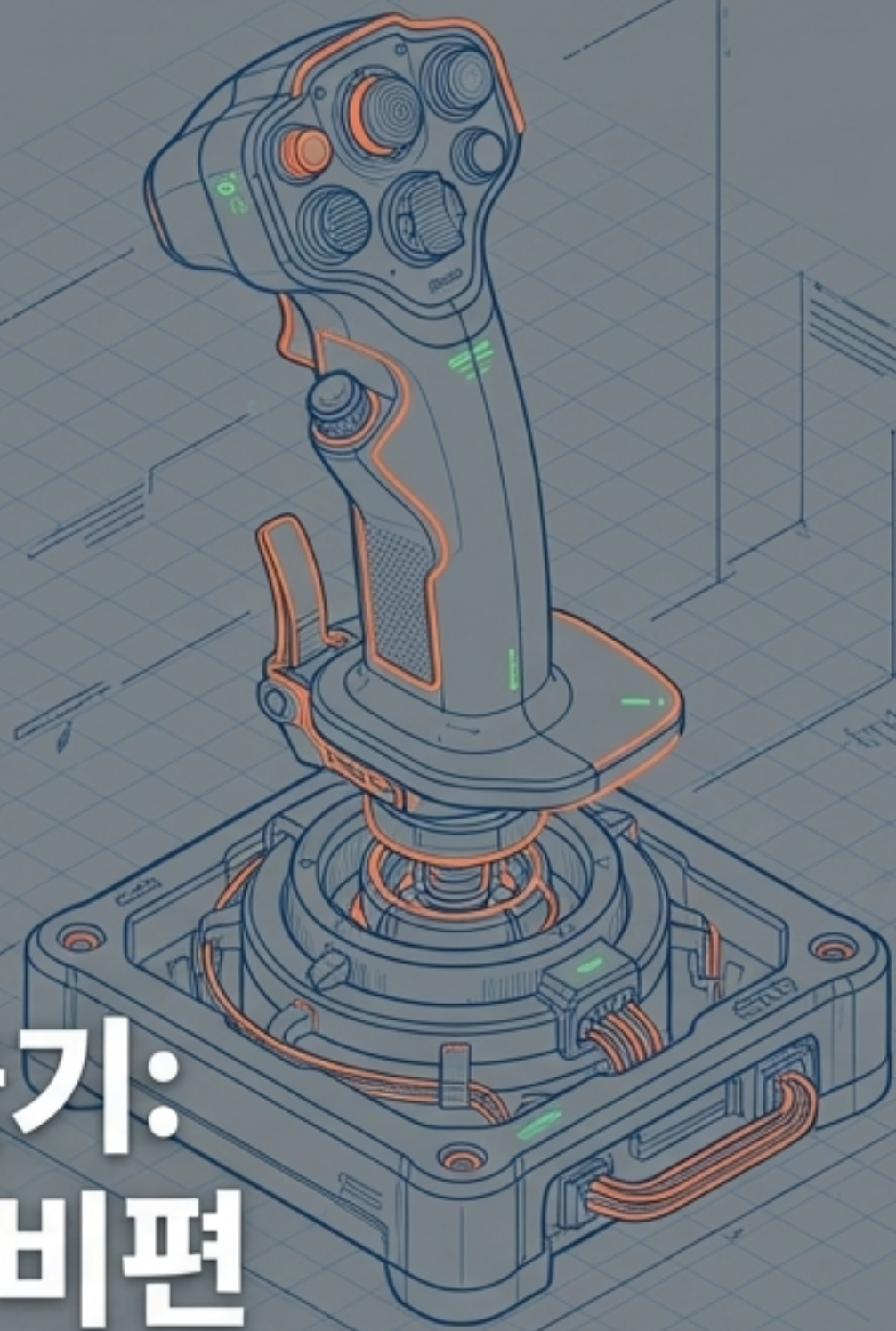


[M.P.T.O 04-10-01]

Meta Pilot Technical Order:
Flight Control System

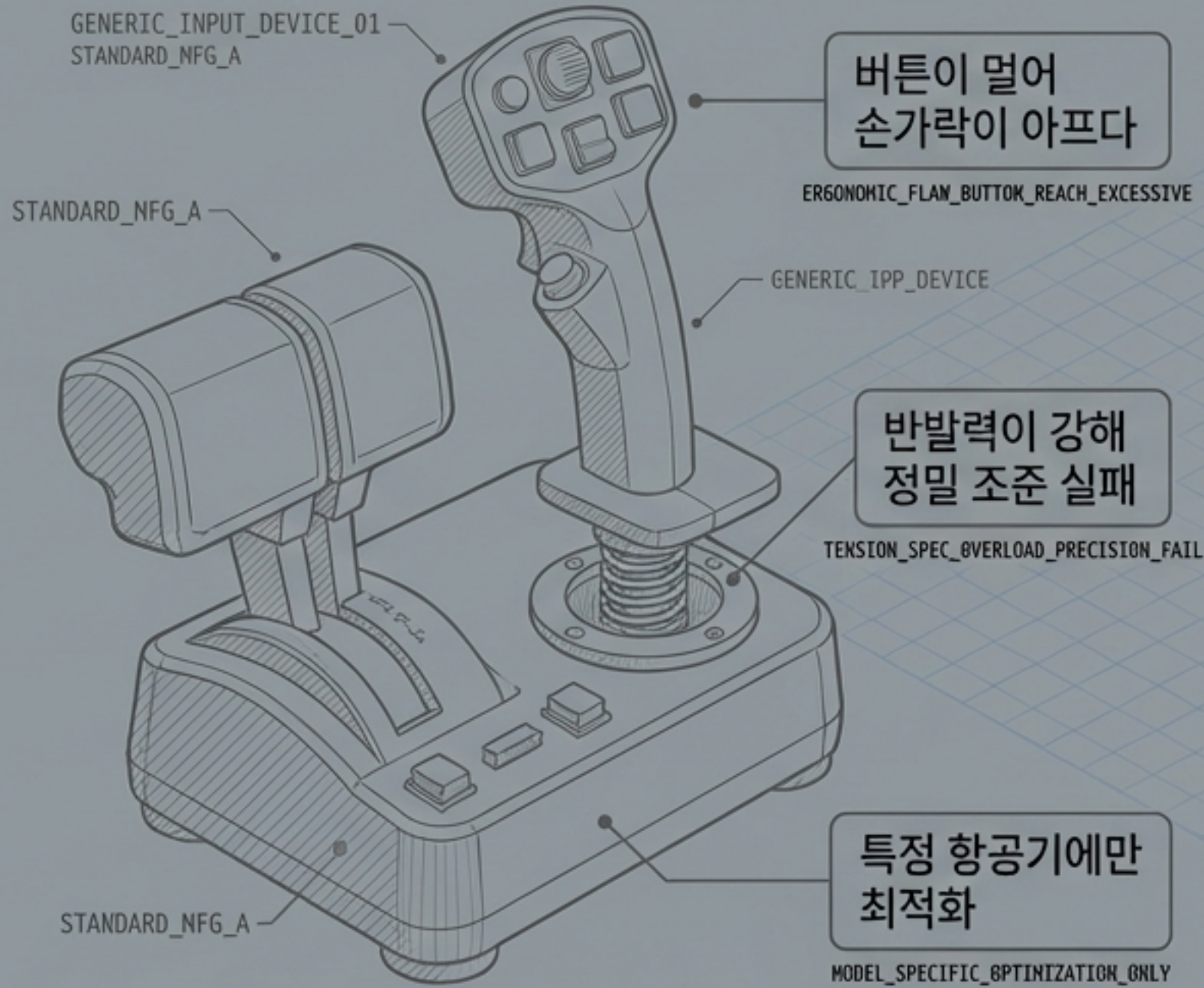


나만의 조종간 만들기: 메타파일럿 조종장비편

기성품의 한계를 넘어, 내 손에 완벽히 동기화된 비행 날개 설계하기

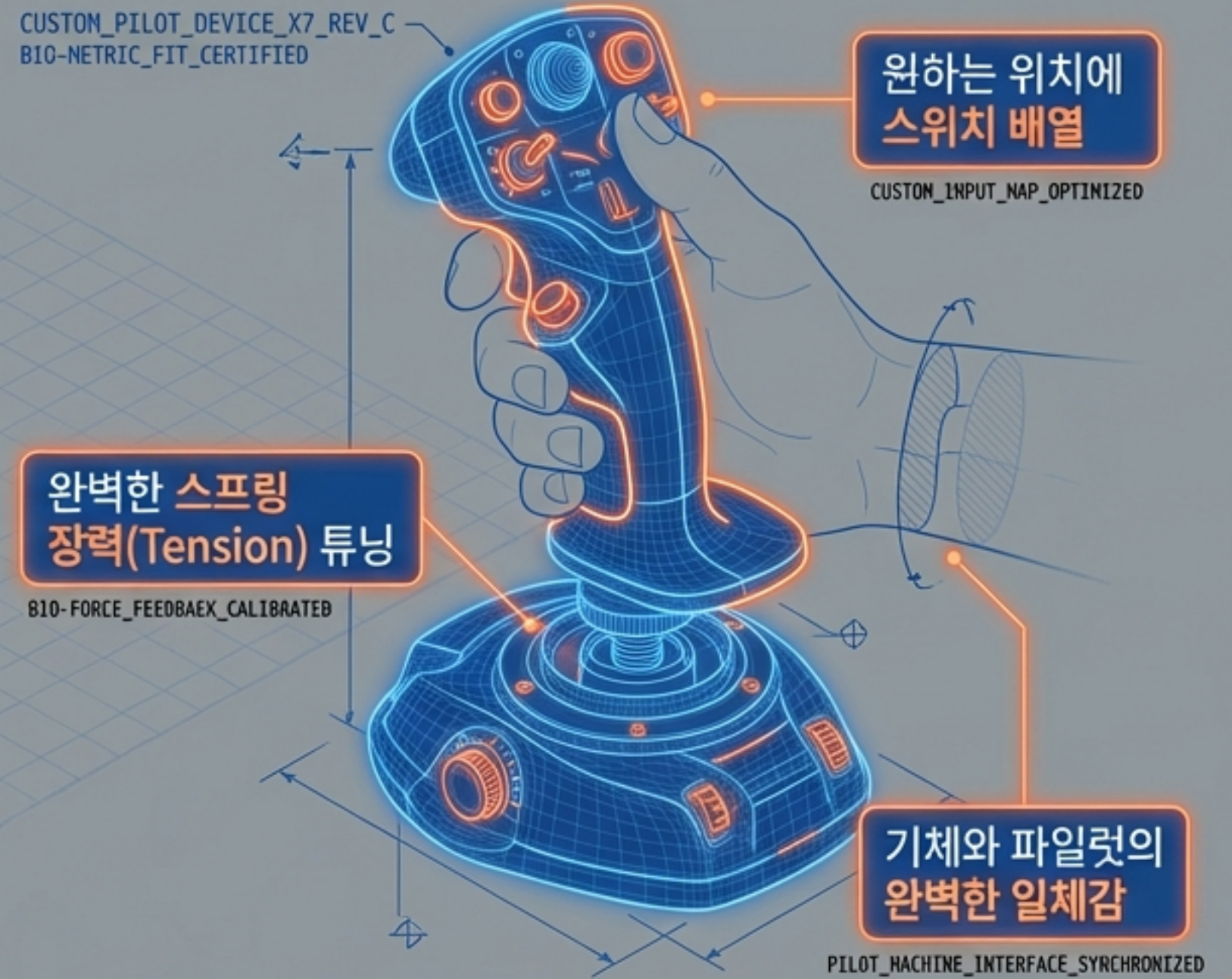
기성품 (Mass-Produced)

전 세계 수백만 명의 '평균적인 손'을 위한 타협.



커스텀 조종간 (Custom-Built)

내 손바닥 굴곡과 팔목 힘에 완벽히 맞춘 유일한 장비.



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

엔지니어의 정비창: 필수 공구와 3대 원칙

■ Category 1 [SOLDERING_GEAR_V3]



플럭스
(착! 달라붙게 하는 마법의 액체)

Category 2 [WIRING_TOOLS_GEN2]



정밀 니퍼
(FOD 방지, 보안경 필수)

와이어 스트리퍼

3 [MEASUREMENT_KIT_MX]



멀티미터
(‘삐-’ 소리로 통진 확인)



제1원칙: 정밀 (Precision)
- 1mm의 오차도 허용하지 마라.

! CAUTION

제2원칙: 안전 (Safety)
- 350도 인두기 전용 스탠드 사용, 연기 환기 필수.

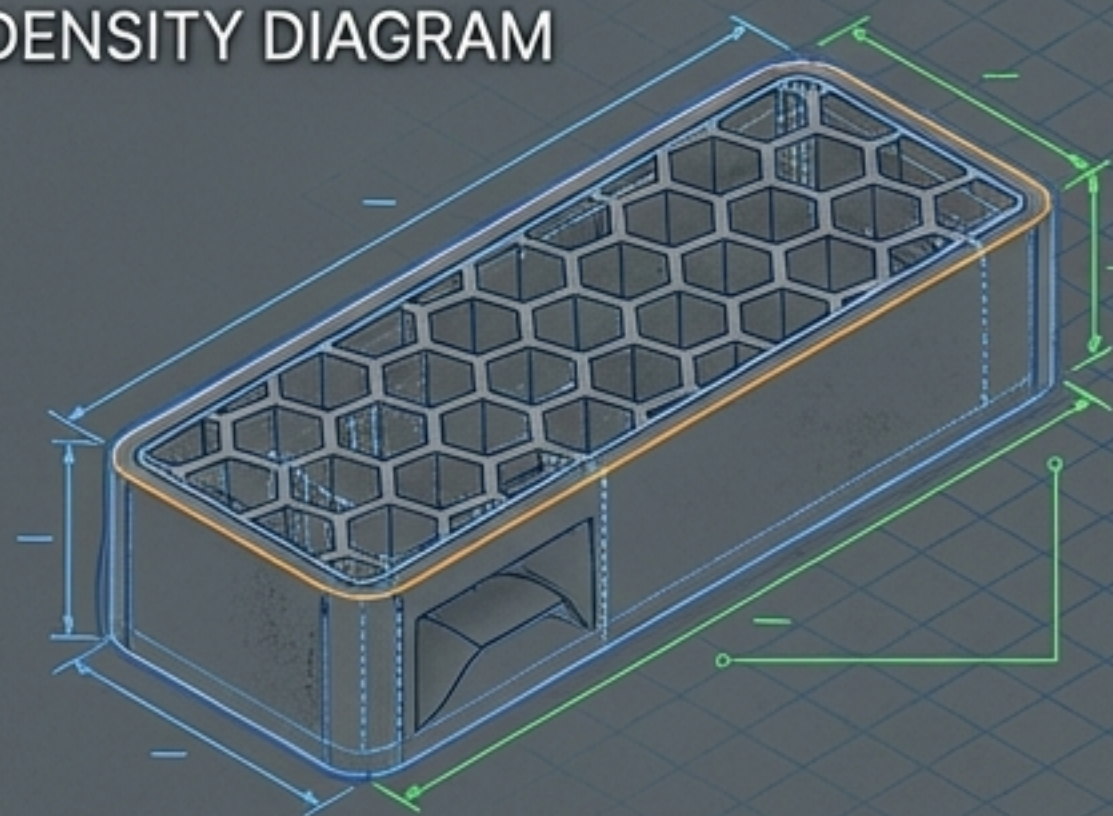
! WARNING

제3원칙: 책임 (Responsibility)
- 내 작품을 타인도 쓸 수 있게 정비하라.

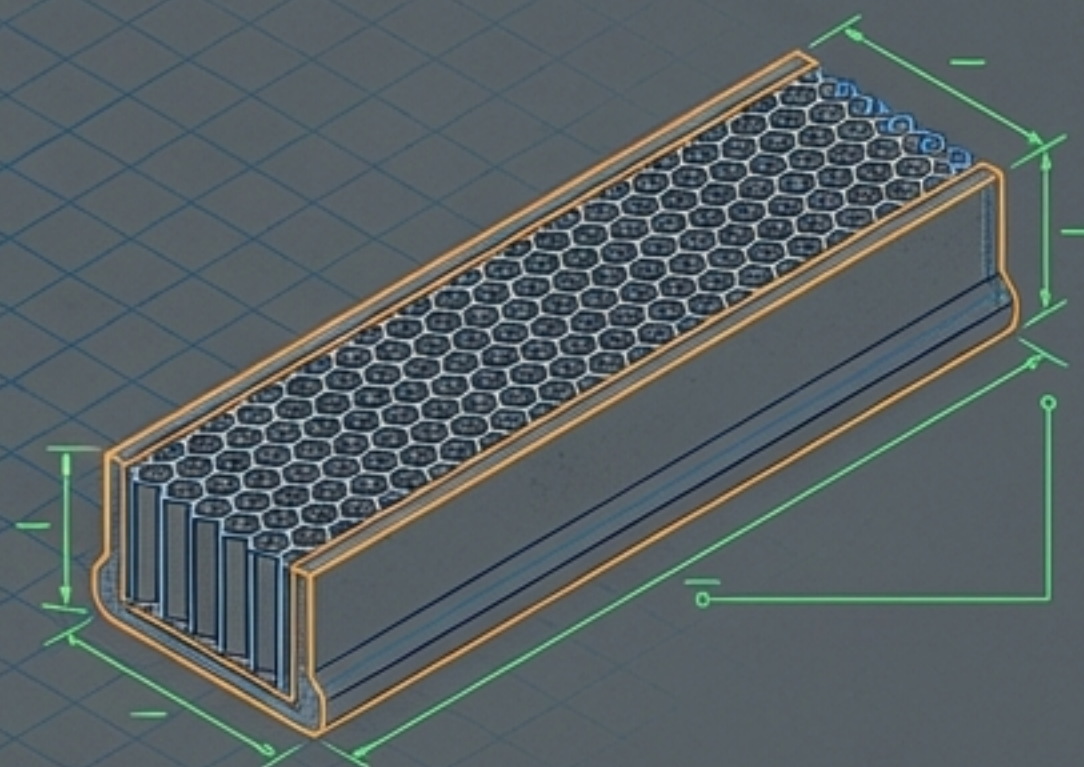
MATERIAL MATRIX

MATERIAL	TRAITS	VERDICT
PLA+ (권장)	친환경+강화제 / 출력 난이도: 쉬움 (수축 적음) / 내열성: 60°C 이하	결론: 주력 소재
ABS	석유 화학 소재 / 출력 난이도: Hell (심한 수축, 유독가스) / 내열성: 100°C	결론: 숙련자 전용

INFILL DENSITY DIAGRAM



조종간 외형 (Body) : 내부 채움 30% (무게와 시간 최적화)



연결봉 (Joints/Core) : 내부 채움 50% (강한 텐션을 버티는 핵심 뼈대)

Tip: 표면 사포질(Sanding)로 감성 품질을 완성하라. 거친 그림은 비행 집중력을 떨어뜨린다.

Phase 1 [근육] : 짐벌(Gimbal) 메커니즘과 무저항의 감각 [GIMBAL_MECH_V1.2]

The True Center (중심점)

손을 놓았을 때 완벽한 물리적 0점으로 복귀해야 함.
축이 비틀어지면 기체는 기운다.

[AXIS_Y]

Y축 (Pitch): 상하 움직임.
기수를 들거나 내림 (Elevator).

[AXIS_X]

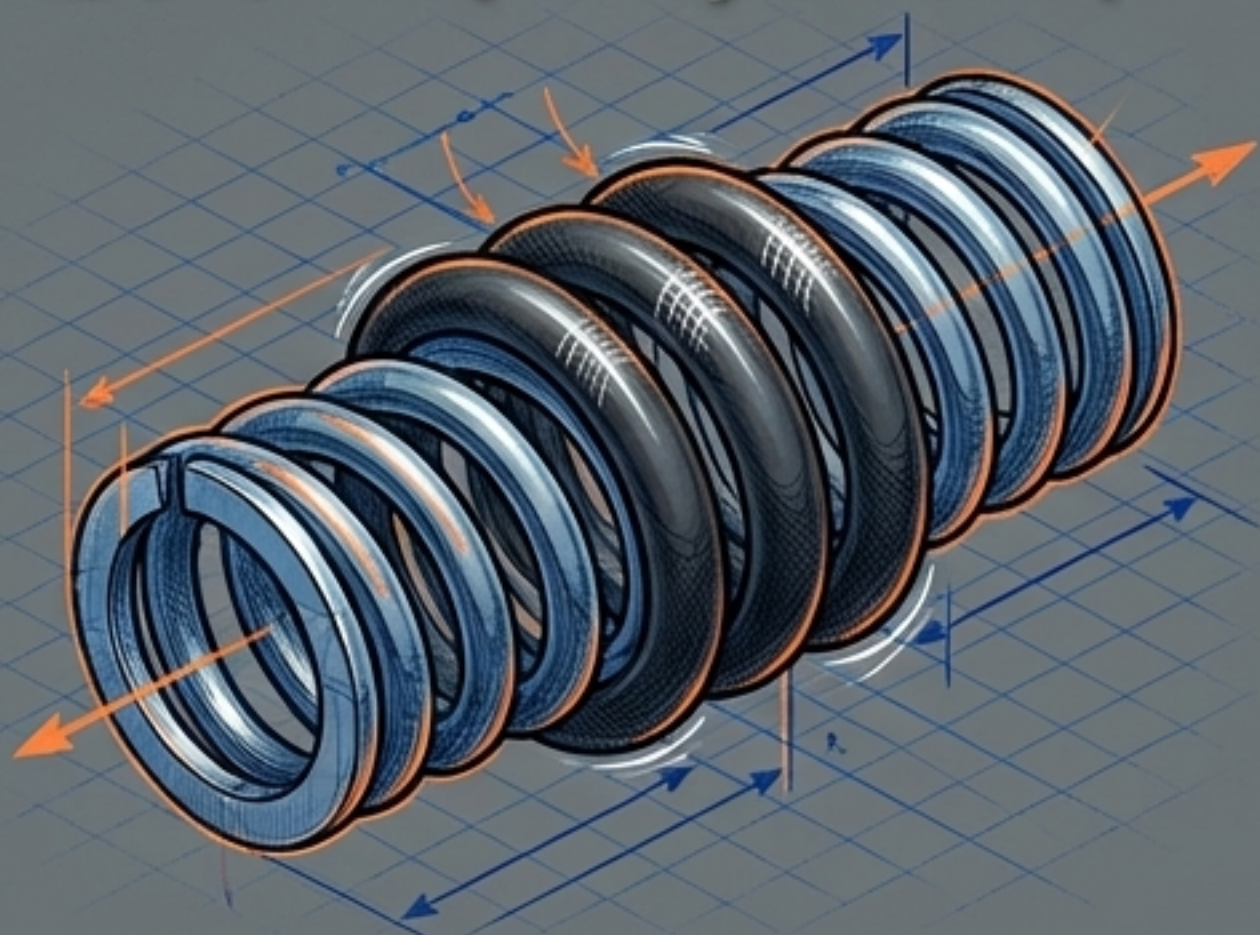
X축 (Roll): 좌우 움직임.
기체를 기울임 (Aileron).

유격(Backlash) 제로

축은 움직이지 않는데 스틱만 움직이는 '죽은 구간'을 없애라.
플라스틱 마찰면은 매끄럽게 다듬어라.

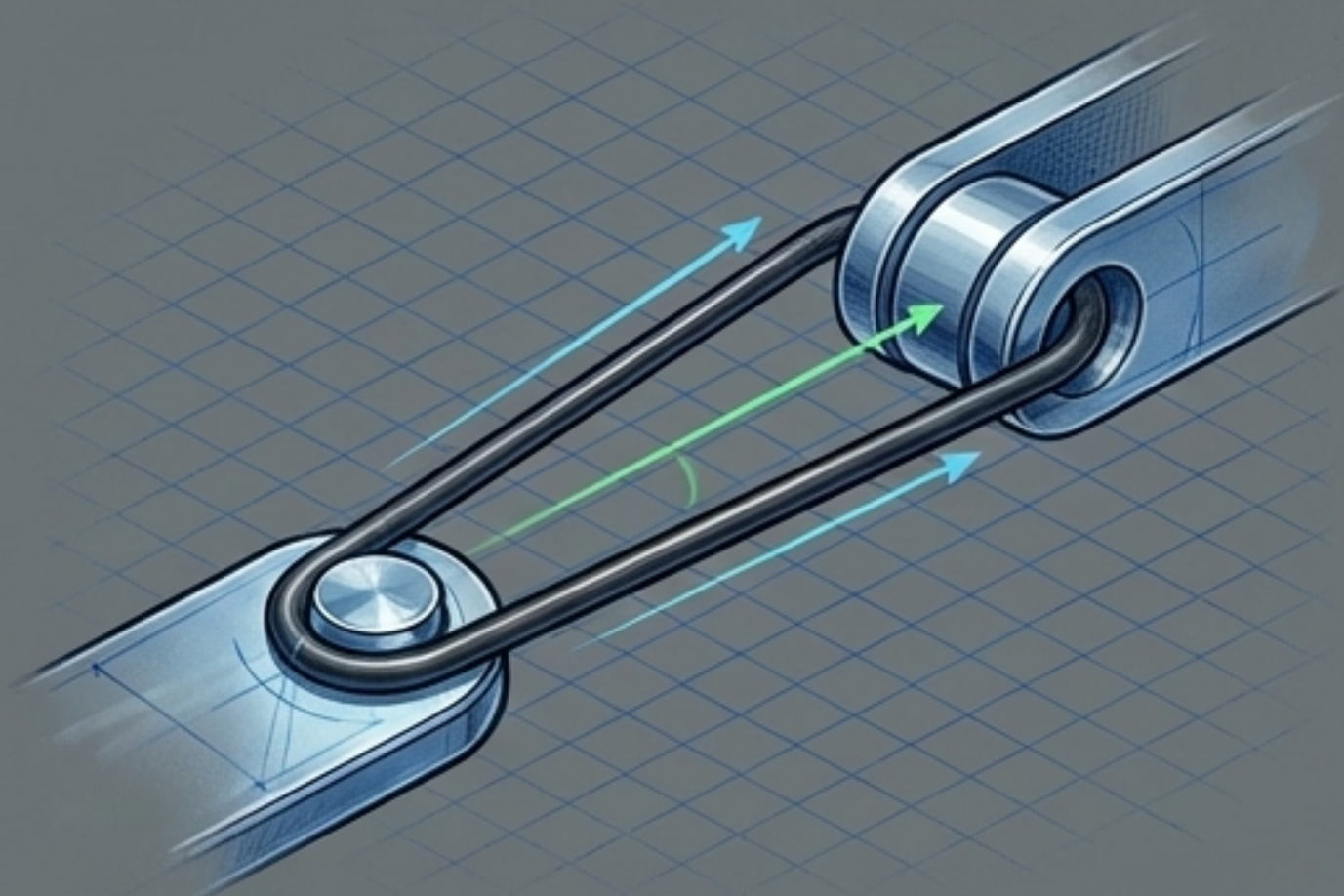
Phase 1 [건과 인대] : 비행 감각을 결정하는 텐션(Tension) 튜닝

전투기 모드 (Heavy Tension)



- 목적: 급격한 기동 억제 및 초정밀 타겟 조준.
- 세팅: 금속 스프링 + 실리콘 고무링 2~3개 장착.
- 감각: 묵직한 저항감, 빠르고 강한 중앙 복귀력.

민항기/헬기 모드 (Light Tension)



- 목적: 부드럽고 지속적인 미세 조작.
- 세팅: 실리콘 고무링 1개 장착.
- 감각: 가벼운 저항감, 쏠득한 댐핑(Damping) 느낌.

Takeaway: 정해진 답은 없다. 내 팔목이 가장 편안한 텐션이 완벽한 세팅이다.

Phase 2 [두뇌] : 마이크로 컨트롤러(MCU) 핀 맵핑

VCC (빨강) : 5V 플러스 전원.
모든 전선의 출발역.

GND (검정) : 마이너스 접지.
모든 전선의 증착역 (물처럼 높은
곳에서 낮은 곳으로 흐른다).

Analog 핀 (노랑) : 조종간 축(Axis)의
0~1023 미세 변화값을 수신.

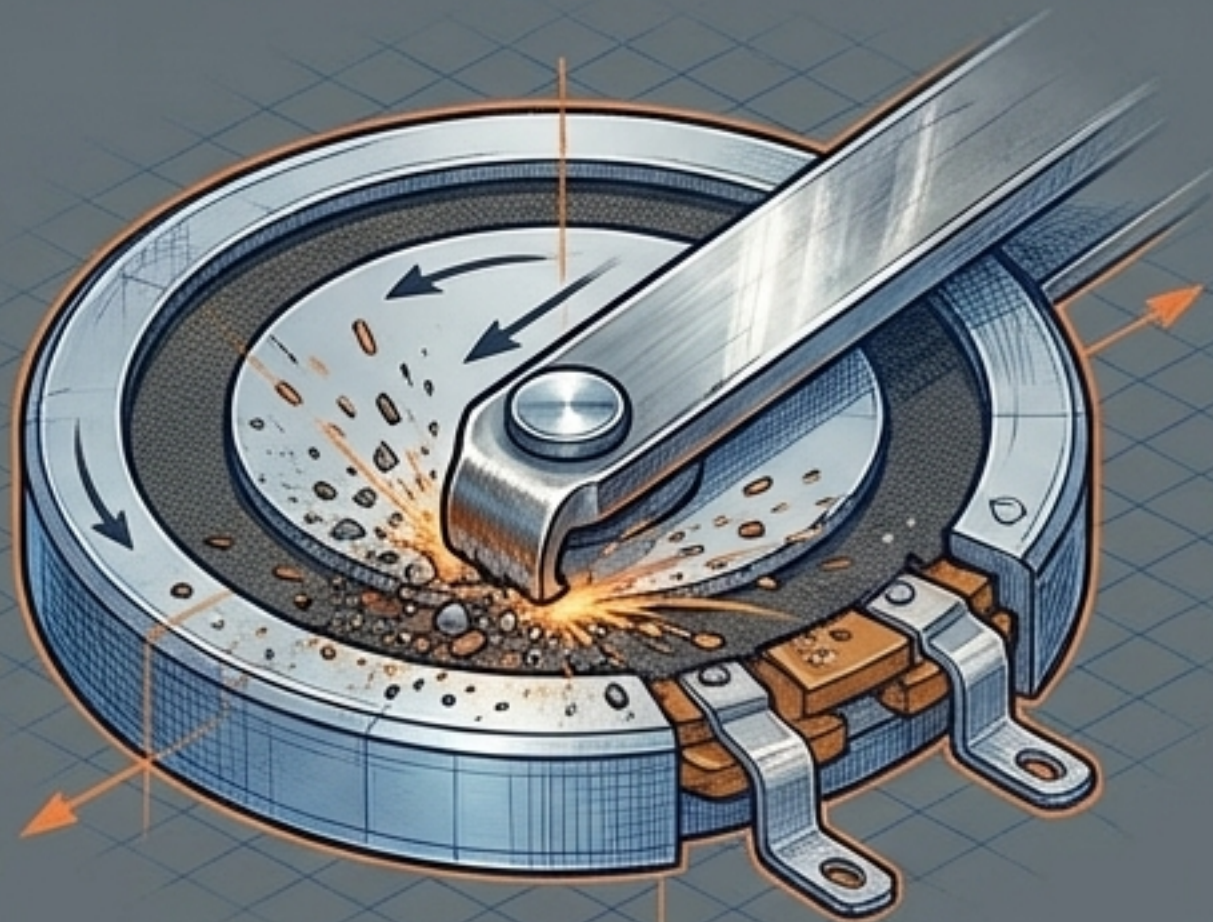
Digital 핀 (흰색/초록) :
버튼의 눌림(1)과 안 눌림(0)만 수신.

Matrix Expansion

핀이 부족할 땐?
74HC165 확장보드나 M1 보드를 통해
복잡한 선을 줄이고 최대 24개 키 입력 확장

Phase 2 [감각 기관] : 센서의 진화 (마찰과의 전쟁)

가변저항 (Potentiometer) - Legacy



- 작동 방식: 물리적 접촉으로 저항값 변경.
- 치명적 단점: 지속적인 마찰로 인한 마모, 유격 발생 시 정밀도 하락.
- 판정: 구식 기술 (라디오 볼륨 조절용).

홀 센서 (Hall Effect Sensor) - Next-Gen (MK-1 주력)



- 작동 방식: 자석의 자기장 세기를 감지 (Non-contact).
- 압도적 장점: 물리적 마찰 제로. 영구적인 수명. 나노 단위의 미세한 움직임 포착.
- 판정: 항공 시뮬레이션의 정밀 표준.

Phase 2 [혈관] : 완벽한 통전을 위한 납땜의 예술 (Wetting)



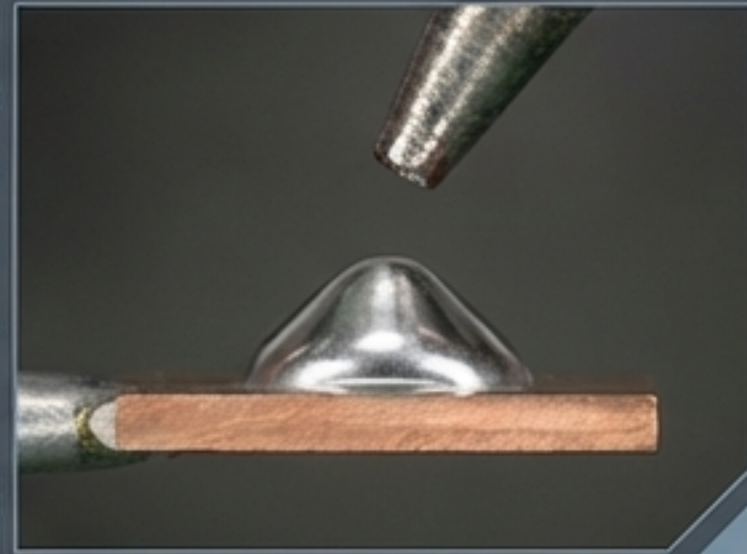
1. Heat (가열)

인두기로 부품(동판)을 먼저 덥힌다.



2. Solder (접착)

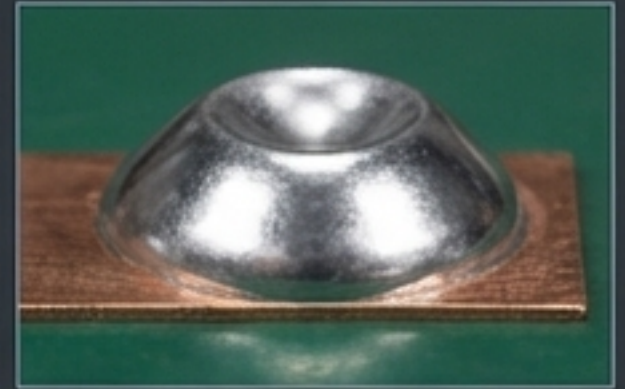
달궀진 부품에 실납을 댄다.
납이 스프레드 녹아 퍼진다.



3. Egress (이탈)

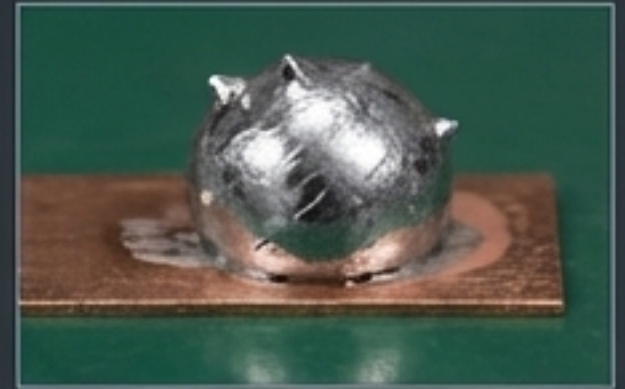
납을 먼저 떼고,
마지막에 인두기를 뺀다.

DO (젖음 현상)



둥그랗고 반짝이는 회산 모양
(플럭스 활용)

DON'T (똥납)

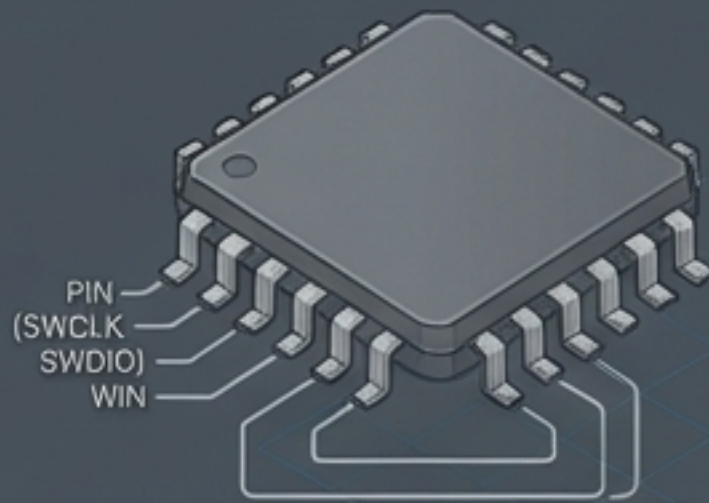


인두기에 납을 먼저 녹여 풀처럼
바르는 행위 (금방 떨어짐)

Quality Control: 듀폰 커넥터 체결 후 멀티미터 통전 테스트 실시. '삐-' 소리는 완벽한 연결을 의미하는 가장 아름다운 음악이다.

Phase 3 [영혼 불어넣기] : 펌웨어 플래싱과 무코딩(No-Code) 혁명

Awakening Sequence



Step 1: ST-Link 연결

전용 업로더를 보드 핀(SWCLK, SWDIO)에 물리적 연결.



Step 2: STM32CubeProgrammer

영혼 주입기 실행.
펌웨어(.bin) 파일 다운로드.
빈 깡통 칩셋이 '조이스틱'으로 깨어나는 순간.



Step 3: FreeJoy Configurator

직관적인 GUI 기반 도구. 코딩(C++) 없이
마우스 클릭만으로 12비트(4096단계)
초정밀 해상도 측과 디지털 버튼을 맵핑.

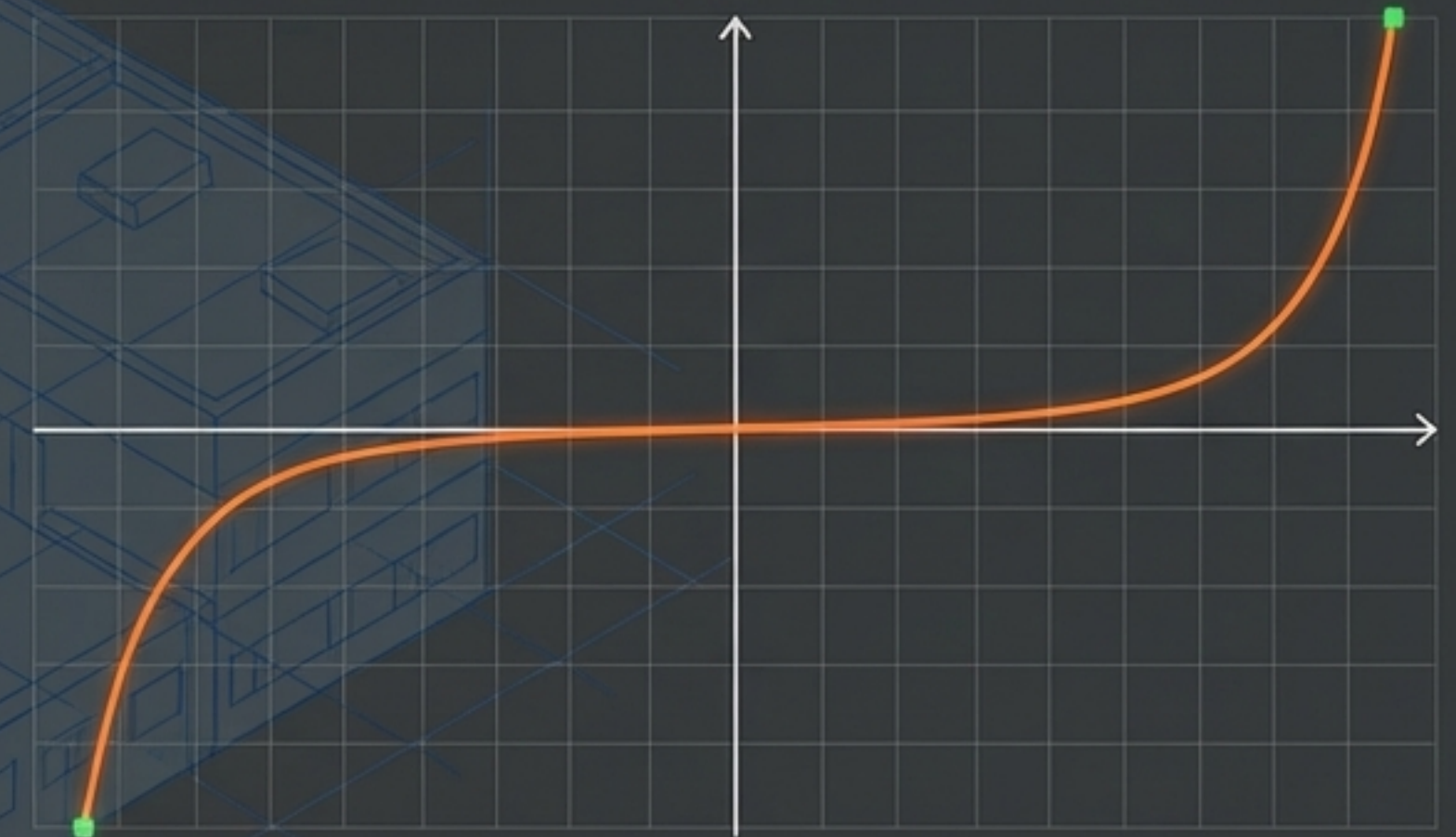
```
$ initialize_system --phase=3
> DETECTED HARDWARE: UNINITIALIZED PLASTIC CONTROLLER
> INITIATING 'SOUL INJECTION' PROTOCOL...
> FLASHING FIRMWARE... [=====] 100% COMPLETE.
> DEVICE AWAKENING...
> Key Concept: "죽어있는 플라스틱에 생명을 불어넣는다." (Save to Flash 버튼으로 영구 저장)
> SYSTEM READY. AWAITING CONFIGURATION...
```

Phase 3 [인지 보정] : 인간의 한계를 극복하는 반응 곡선

데드존 (Deadzone) - 침묵의 완충지대



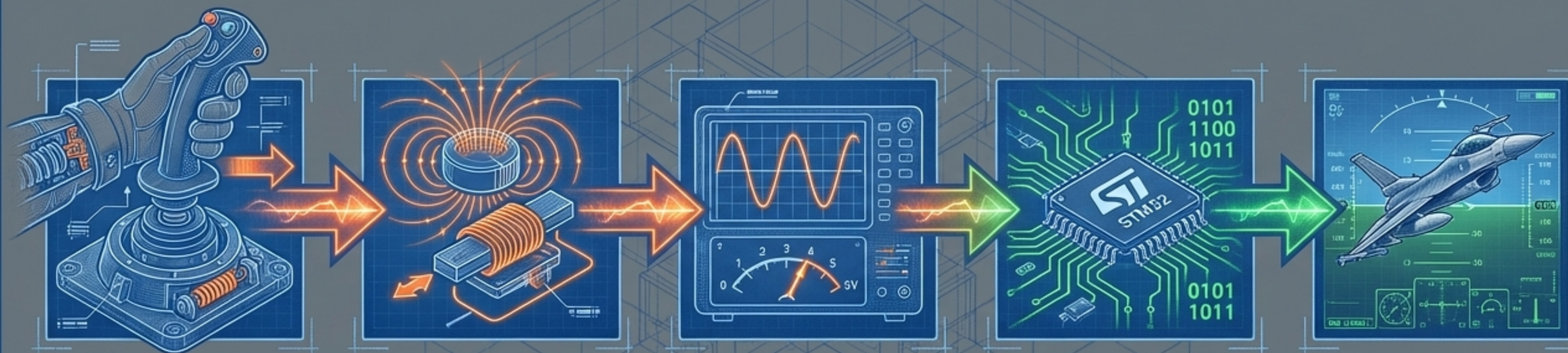
S-커브 (Response S-Curve) - 비선형 정밀도



- 시각화: 중심축(Center) 2048 값 주변의 미세한 입력을 무시하는 평탄한 구간.
- 이유: 인간의 손은 완벽하지 않아 가만히 쥐고 있어도 미세하게 떨림 (Jittering).
- 설정값: 중앙 기준 1% ~ 3% 권장.

- 시각화: 중앙은 완만하고(둔감), 끝으로 갈수록 가파른(민감) S자 형태의 그래프.
- 이유: 공중급유나 편대비행 시 십자가를 정중앙에 꽂기 위한 위한 극강의 미세 조작(Micro-adjustments) 확보.

The Handshake: 기계, 전자, 소프트웨어의 완벽한 동기화



1. 물리적 입력 (Mechanical Input)

파일럿이 스틱을 당김 -> 짐벌 증심속 이동, 스프링 텐션 저항 발생.
[기구학]

2. 자기장 변화 (Magnetic Shift)

마찰 없는 홀 센서가 자석의 이동 각도를 정밀 감지.
[물리학]

3. 전압 변환 (Voltage Conversion)

움직임의 범위가 0~5V 사이의 아날로그 전압값으로 변환됨.
[진지공학]

4. 디지털 처리 (Digital Processing)

STM32 MCU가 전압을 0~4095(12-bit) 숫자로 번역 후 PC로 전송. [소프트웨어]

5. 시뮬레이터 바인딩 (Simulator Binding)

DCS/MSFS 기체 엔진에 Roll/Pitch 신호로 최종 전달.
[기상원실]

Phase 4 [면역 체계] : 3대 이상 증상 트러블슈팅 매트릭스

증상 (Symptom)	원인 (Root Cause)	처방 (Remedy)
축 떨림 (Jittering) - 가만히 있어도 화면 축이 요동침	전기적 노이즈, GND 접지 불량	쉴딩(Shielding) 배선 재정리, 자석 고정 확인.
고스팅 (Ghosting) - 누르지 않은 버튼이 같이 눌림	회로 합선(Short), 배선 꼬임	멀티미터로 도통 테스트 후 재납땜.
인식 불가 (Unrecognized) - PC 연결 시 반응 없음	USB 케이블 불량 또는 MCU 칩셋 사망	데이터 통신용 케이블 교체, 보드 1:1 교체.

응급 처치 키트 (Field Repair Kit)

베이스 플레이트 하단에 미니 드라이버, 여분 홀 센서, 점퍼 와이어, 케이블 타이를 비상용으로 부착하라.

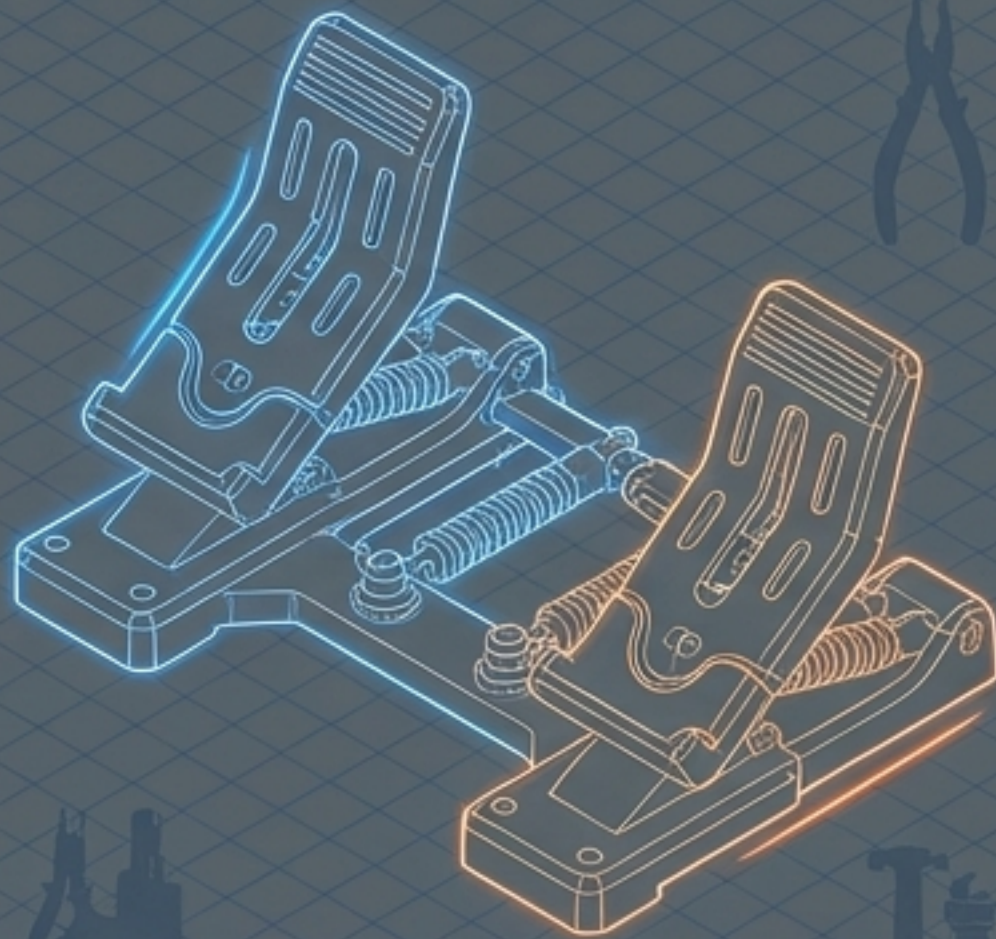
확장 (Expansion) : 나만의 비행 생태계 구축

Level 1: 클레이 프로토타이핑 (Ergonomic Grip)



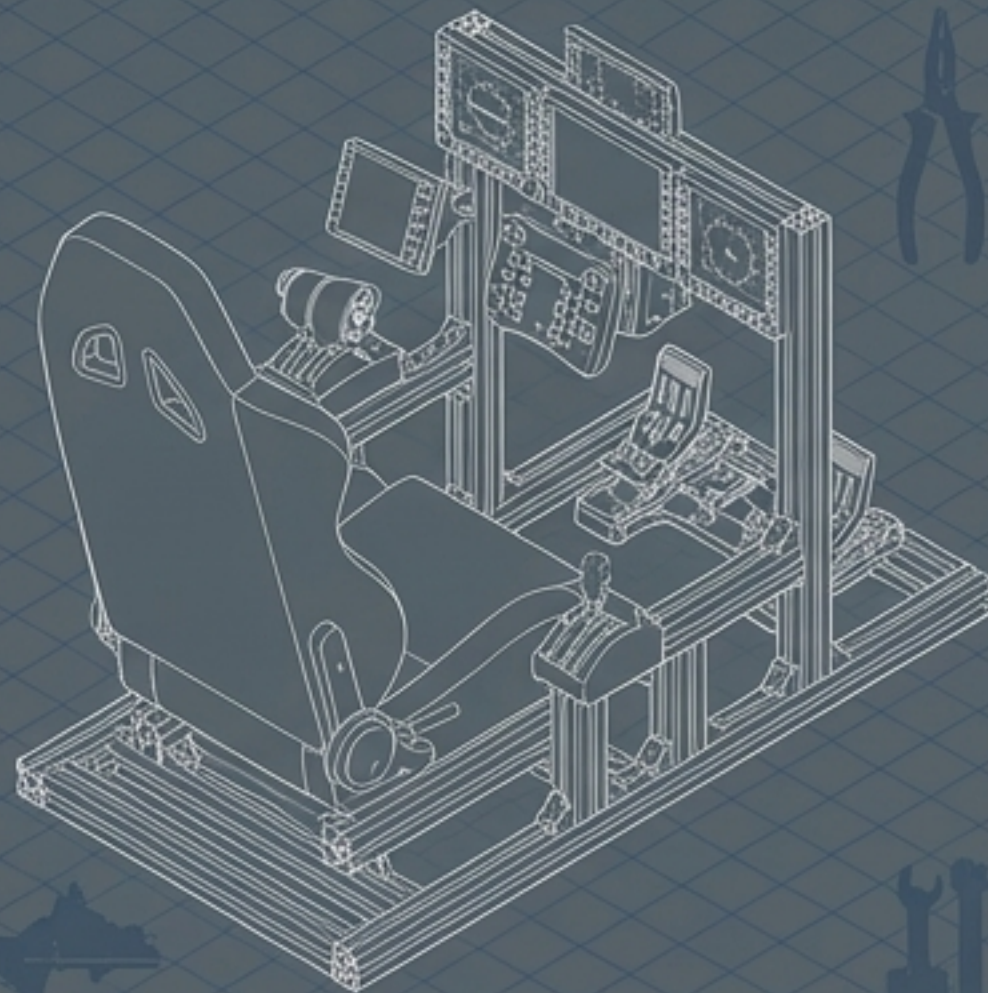
다이소 점토를 그립에 붙여 비행 자세로 짝 쥐어
개인의 손가락 마디와 엄지 꺾임을 복사.
3D 모델링 수정 후 완벽한 맞춤형 그립 재출력.

Level 2: 러더 페달 (Rudder Pedals)



비행 조종의 완성은 발(Foot).
확장 모듈과 추가 축 설정을 통해
요잉(Yawing) 통제권 확보.

Level 3: 알루미늄 프로파일 조종석 (Home Cockpit)



랜딩기어, 플랩, 시동 스위치 할당.
알루미늄 프레임을 조립해 방구석을
완벽한 전술기로 개조.

에필로그 : 메타파일럿 엔지니어 자격(Wing) 검증



The 3 Final Trials

1. 정밀도 (Precision): 공중급유(Aerial Refueling) 붐과 1분 이상 흔들림 없는 연결 유지.
2. 내구성 (Durability): 급격한 기동(High-G Turn) 10회 연속 수행. 축 틀어짐이나 소음 제로.
3. 정비성 (Maintainability): 눈을 감고 10분 내에 조종간 짐벌 완전 분해 및 재조립.

조종간이 흔들리면 고치면 되고, 부족하면 추가해서 만들면 된다.
자유를 완성하는 힘은 도전에서 나온다.

이상. 정비 끝. 출격하라.