



불나비 2024

드론 종합 세미나



서울대학교 기계공학부 장민혁

교육 순서

0. 교육 목적
1. 쿼드로터 시스템 / 부품에 대한 이해
2. 주의사항
3. 프레임 조립 및 전선 납땜
4. 픽스호크 부착 및 전선 연결
5. QgroundControl 사용, 센서 캘리브레이션 및 조종기 세팅
6. 쿼드로터 동작 원리의 이해
7. Mavlink Console 활용 및 픽스호크 내부 메시지 출력 방법
8. PX4 firmware 개발 시 Vscode 활용 팁
9. 프로펠러 장착 후 시험 진행
10. Flight log 확인 방법
11. 쿼드로터 해체 후 원상 복구 (추후 신입 교육에 재사용 예정)

교육 목적

어디서도 체계적으로 배우기 힘든, 드론에 대한 넓고 얇은 지식을 종합적으로 전달하기 위함

1. 드론을 구성하는 각 부품의 역할과 동작원리를 이해한다.
2. 드론을 처음부터 끝까지 직접 조립해보며, 각 부품이 어떻게 연결되어 하나의 시스템을 구성하는지 이해한다.
3. 드론을 실제 날리기 전에, 어떤 과정이 필요한지 이해한다.
4. 실제 드론을 활용한 시스템을 개발하는데 있어 유용한 팁들에 대해 배운다.
5. 비행 시험을 통해 얻은 비행 로그를 분석하는 방법에 대해 배운다.



그리고 무엇보다 ...

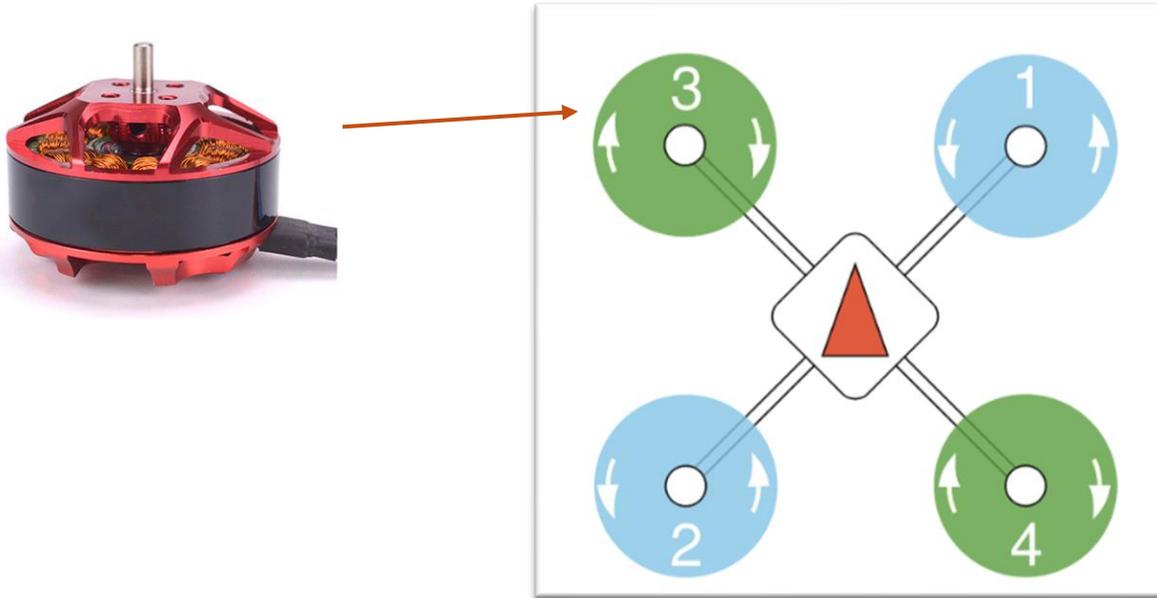
Hands-on Experience의 중요성!!

쿼드로터 시스템 구성

1. 프레임 (실습에는 S500 프레임 활용)



2. 모터



3. 프로펠러 (프롭)



모터와 마찬가지로 시계/반시계 방향에 주의 !!

CW (Clockwise : 시계 방향)

CCW (Counterclockwise : 반시계 방향)

Q. 2개는 CW, 2개는 CCW인 이유는 무엇일까? 왜 다 CW이면 안될까?

A. 작용/반작용 토크를 상쇄시키기 위함 !

4. ESC (Electronic Speed Controller)



- 전자 변속기

모터의 회전 속도를 제어해주는 장치

비행 제어기에서 PWM 신호로 전달된 명령을 모터가 알아들을 수 있도록 변환

5. GPS / IMU



GPS : 현재 위치를 파악

- 실내에서는 사용 불가
- 보다 높은 정확도를 위해 RTK-GPS를 사용하기도 함

IMU : 축 별 가속도/각 가속도를 측정

- 진동에 굉장히 취약함

6. FC (Flight Controller)

드론의 핵심 부품 (뇌)



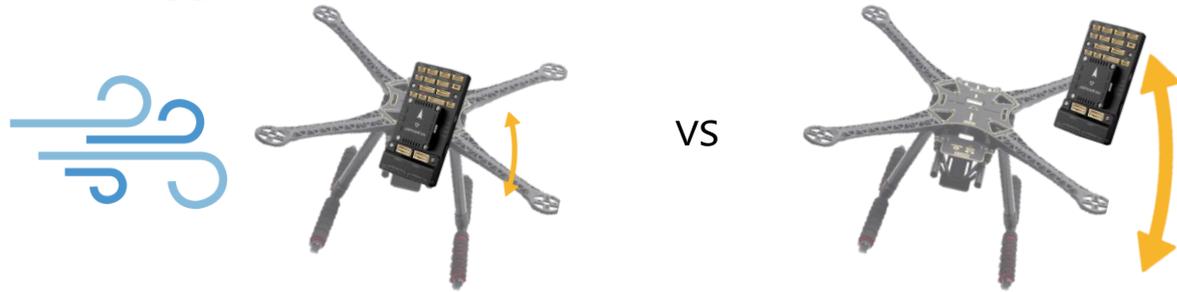
픽스호크 v6x : 일종의 작은 컴퓨터로, 센서에서 들어온 데이터를 처리해 각 모터에 어떤 입력을 줄지 결정.

주의 사항

1) IMU 센서가 포함된 굉장히 민감한 부품이므로 FC는 가능한 **질량 중심에 가깝게 부착!!**

Q. 왜 질량 중심에 가깝게 부착해야 할까?

A.



2) **진동에 유의!!** : 진동 흡수용 부품을 사용하기도 함

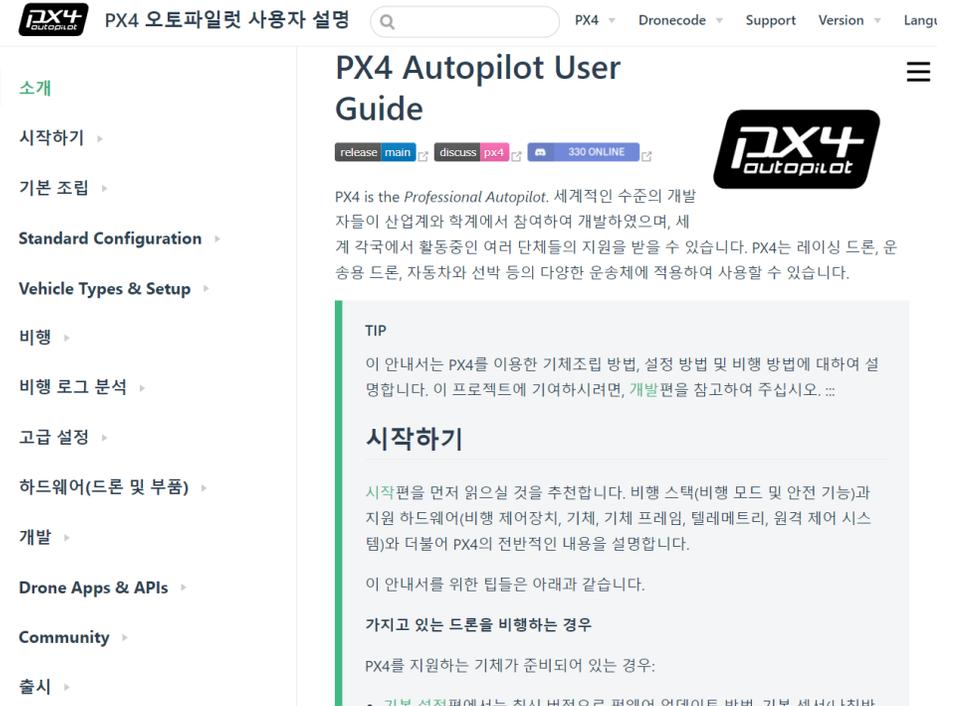
3) **전자기장에 유의 !!**

- 주위에 강한 전류가 흐르는 부품이 위치하지는 않았는지 확인한다 !

제어 명령(각 모터에 어떤 입력을 넣을지)은 측정된 센서 값(현재 기체의 상태를 나타내는)을 기반으로 생성된다. 따라서, **측정된 센서 값의 신뢰도를 높이기 위해** 위와 같이 사소해 보이는 것에도 많은 주의를 기울여야 한다.

6-1) PX4 - Autopilot

- 픽스호크에 올리게 될 펌웨어
- C++ 기반, 오픈소스이며 모든 코드를 변경 가능
- 굉장히 자세한 유저 가이드 존재
- 개발을 진행한다면 꼭 확인하게 될 사이트
- <https://docs.px4.io/main/ko/>
- <https://github.com/PX4/PX4-Autopilot>
- 각종 데이터를 처리하고, 각 모터의 출력 제어
- 시뮬레이션 관련 코드들도 포함되어 있음
- 내부에 굉장히 유용한 **msg**들이 정의되어 있어 추후 개발에 활용할 수 있음 (ex. Local position ..)



7. 배터리



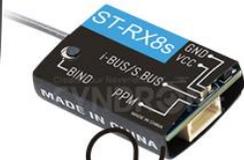
- 드론용 배터리는 보통 Li-Po (리튬-폴리머) 형식

- 일반적으로 3셀 ~ 6셀을 사용
1셀 (1S) 당 3.7V로 계산하면 된다.
Ex) 3셀 = 11.1V

- 주의 : 충전 및 보관 시 화재 발생 가능 !!

8. 조종기 및 수신기

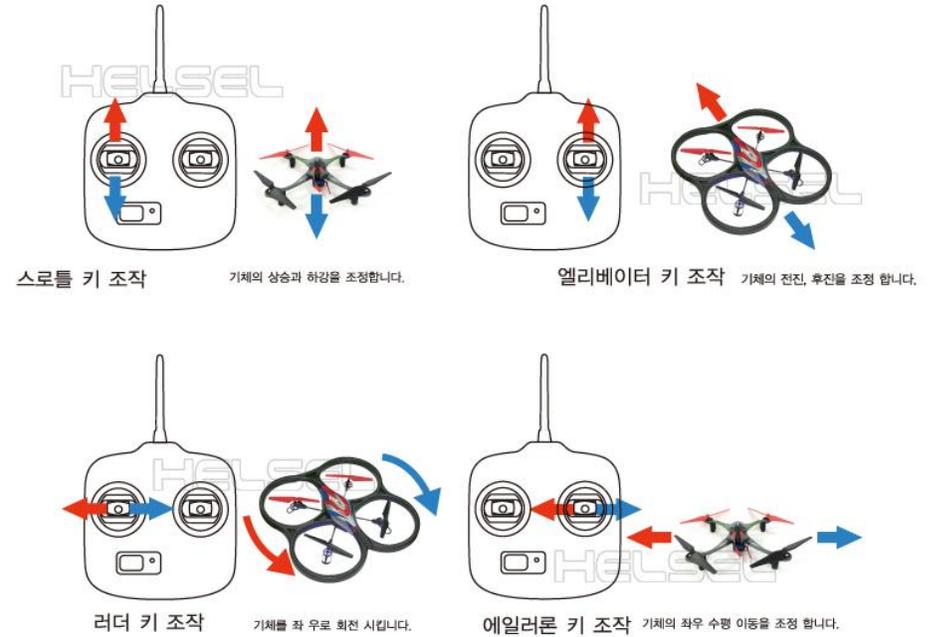
ST10



수신기 포함

모드 1, 2로 구성
모드 2는 다음과 같이 작동한다.

모드2

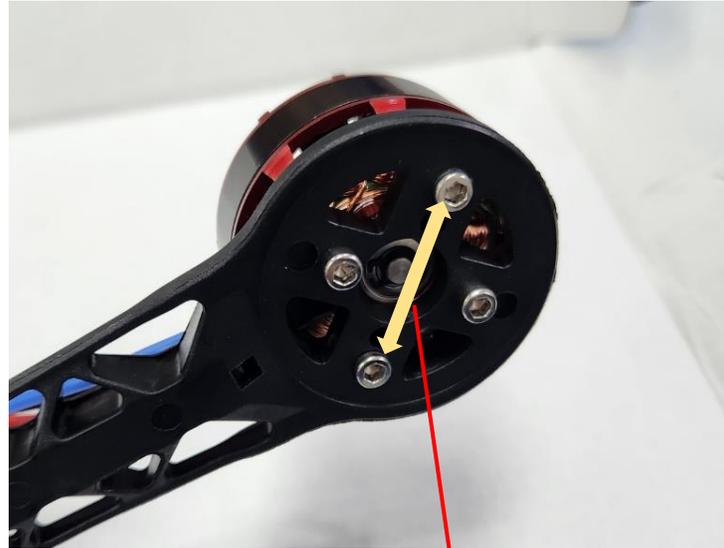
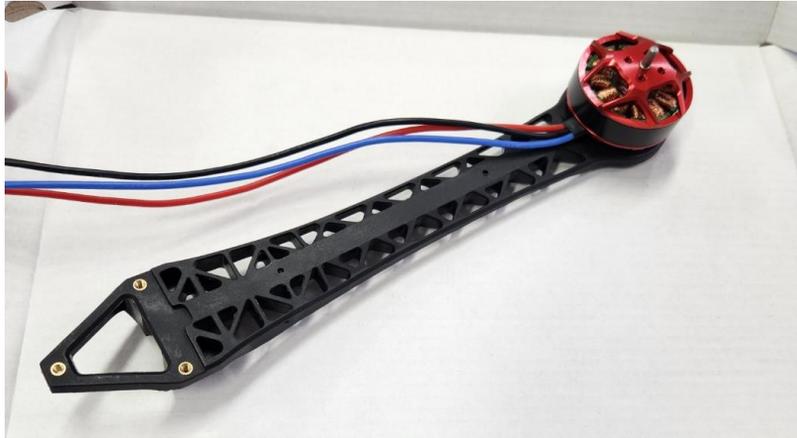


1. **안전 제일**
2. 4인 1조로 진행. 부품 조립도 가능하면 번갈아 가면서 진행
3. 실내에서는 프로펠러 부착 금지
4. 납땀 시 화상 주의
5. 부품을 소중히 다뤄주세요... 사비로 구입한 부품입니다..
6. 나사 분실 주의 !!
7. 실습 종료 후 원상복구 ! (양면테이프도 다 제거해야 하므로 처음부터 적정량 사용 권장)
8. 분실/ 파손 시 조교에게 바로 보고

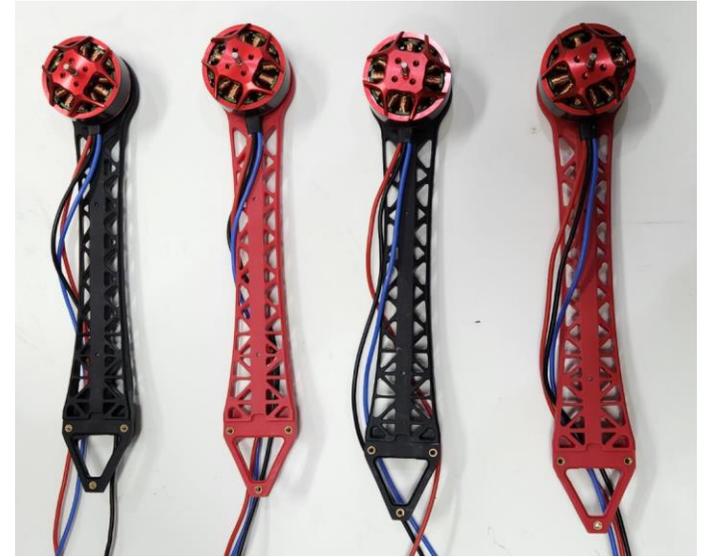
조립 순서

1) 암대 4개 만들기

- 암대에 모터 부착 (지나치게 긴 나사 사용 시 모터 안쪽에 닿을 수 있으니 조심)
- 나사 체결의 기본 : 처음에는 헐렁하게 4개를 장착한 뒤, 번갈아가면서 나사를 조인다



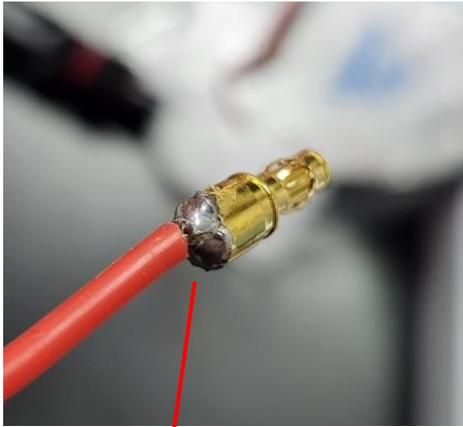
나사 간격이 긴 부분을 확인하여 모터와 결합!



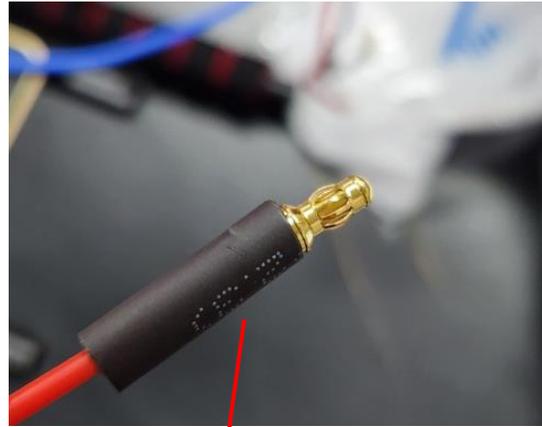
모터를 장착한 모습

1) 암대 4개 만들기

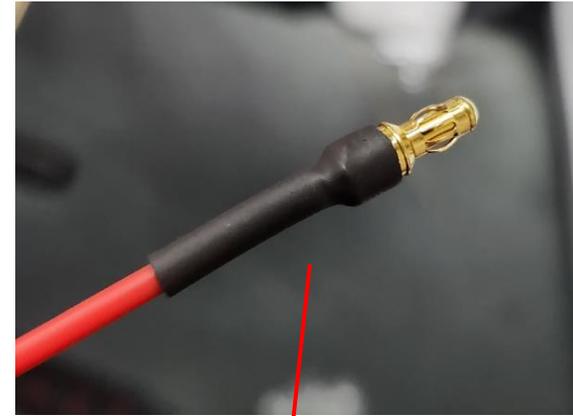
- 모터-ESC 연결용 골드잭 제작 (모터 1개당 3개씩, 총 $3*4=12$ 개)
- 이미 납땜이 되어 있다면 생략
- 납땜 시 화상 주의 (맨손이 아닌, 집게로 잭을 고정시킨 뒤 납땜 진행)



납땜 이후 모습



미리 끼워둔 수축 튜브를
납땜 부위에 위치

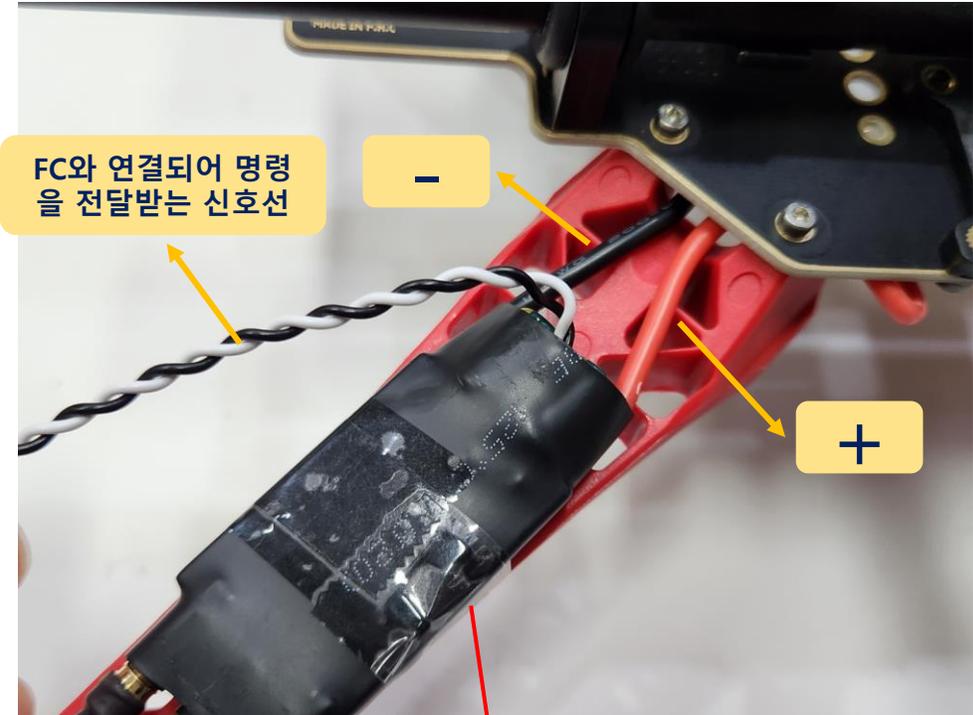
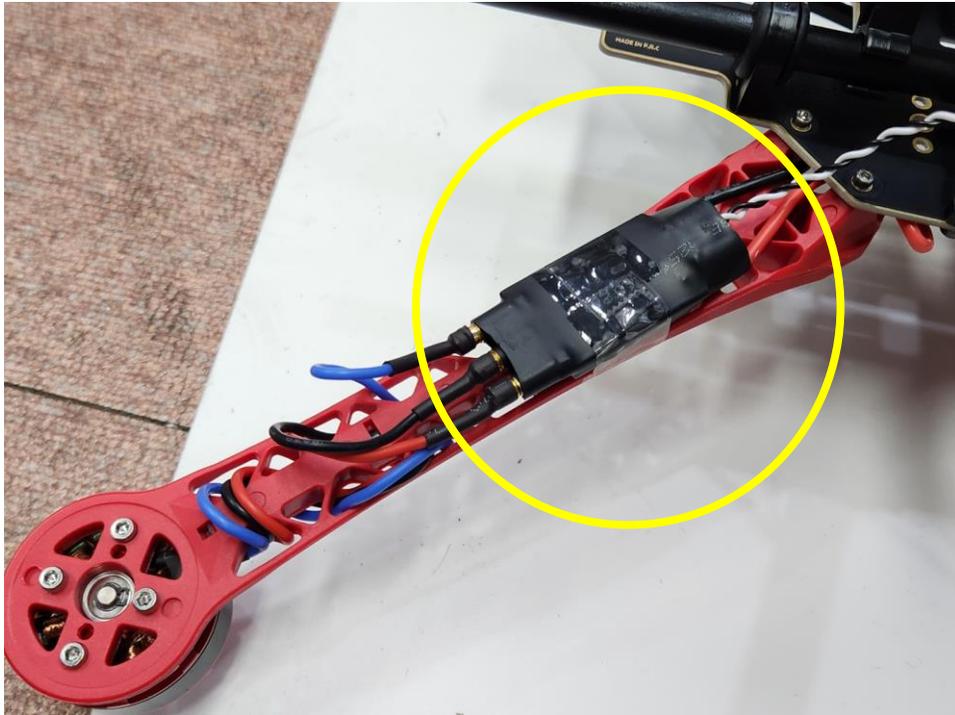


열풍기로 수축시킨 뒤 모습

조립 순서

1) 암대 4개 만들기

- ESC 부착 및 모터와 선 연결
- 아무 3개나 연결하면 되며, 추후 전원 연결해서 회전 방향이 잘못된 것이 확인되면 아무 2개나 바꿔서 다시 연결
- 남은 선은, 추후 프로펠러 선과 겹치지 않게 암대에 잘 감아 정리



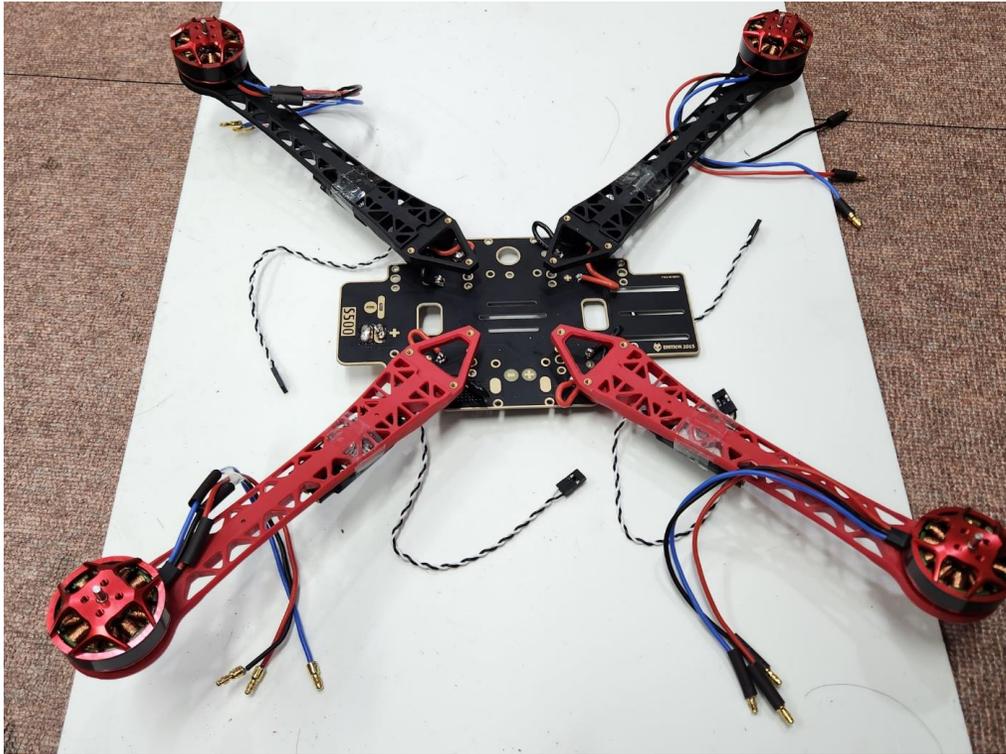
테이프로 임시로 고정된 모습
(추후 조립이 완료되면 케이블타이로 단단히 고정)

조립 순서

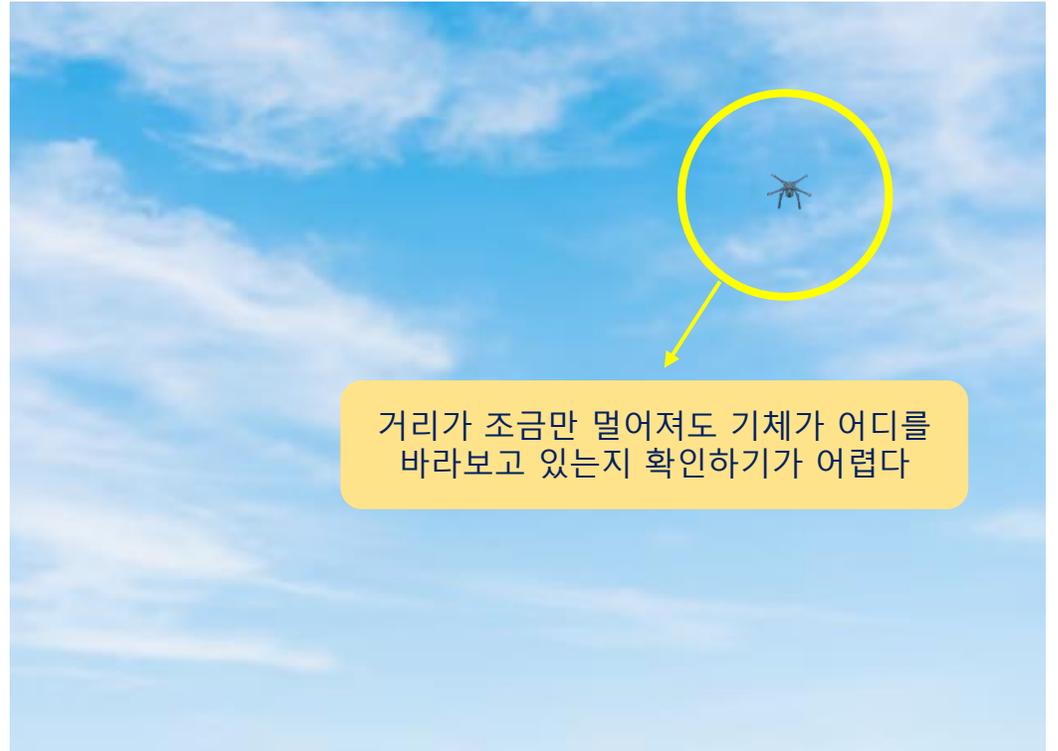
2) PDB 아래 기판에 암대 4개 부착 (암대 번호에 주의)

- 암대 색은 비대칭으로 빨빨/검검 장착

Why? 비행 시 거리가 멀어지면, 기체가 향하고 있는 방향을 육안으로 확인하기 어렵기 때문! (조종 시 위험)



정면



거리가 조금만 멀어져도 기체가 어디를 바라보고 있는지 확인하기가 어렵다

조립 순서

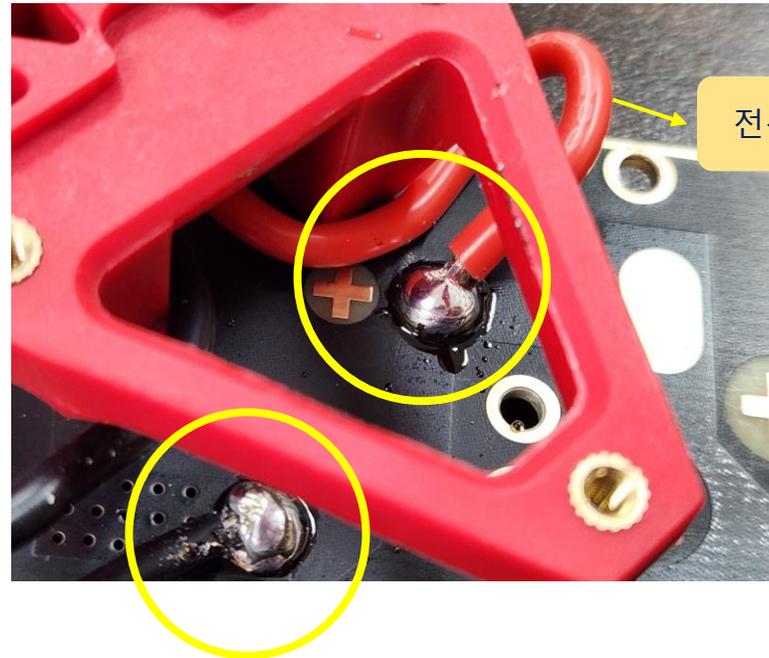
3) 납땜

- 1) PDB 기판에 4개의 ESC 납땜 : + (빨강) - (검정)
- 2) 전원 선 납땜. + / - 유의
 - 이미 되어 있으면 생략
 - 화상 및 기판 손상 주의

① 기판 위 +/-에 납 방울 만들기

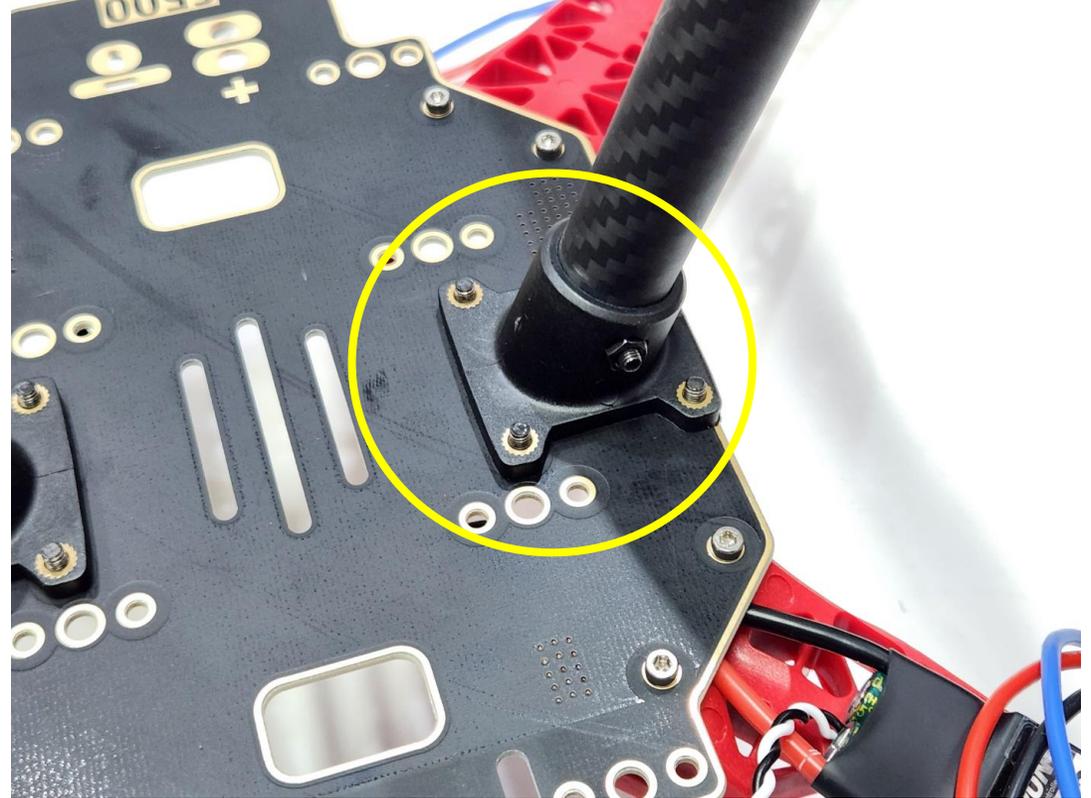
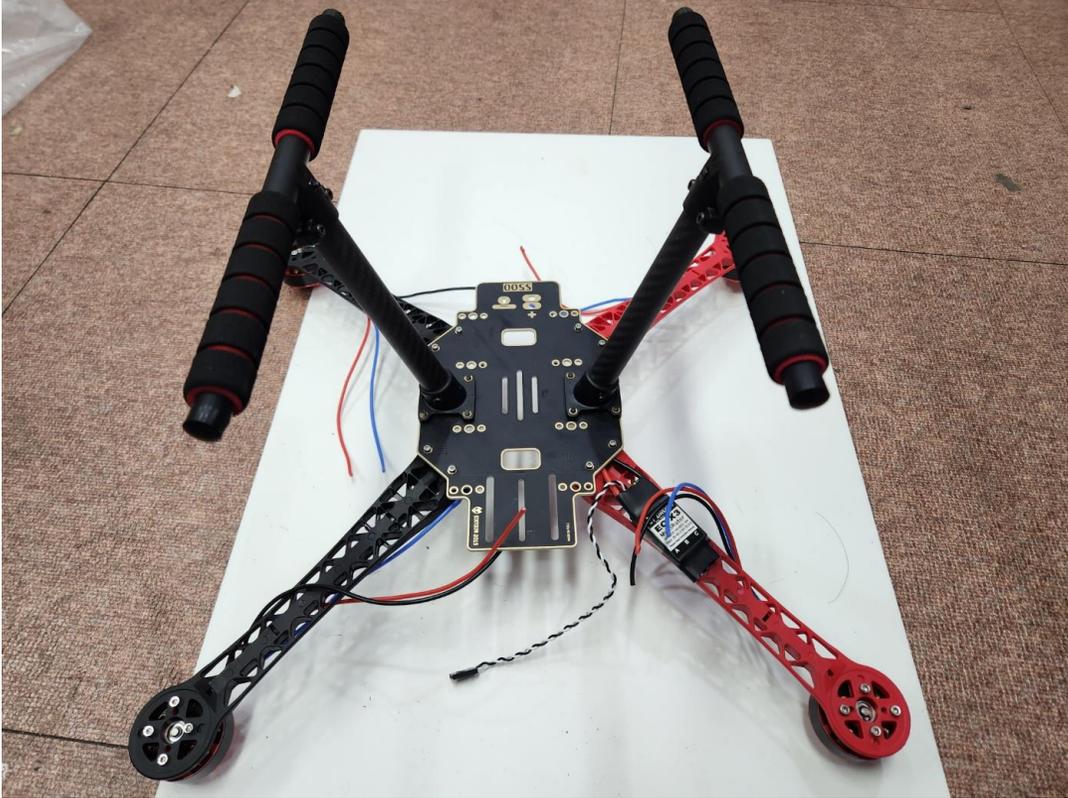


- ② 인두기로 납 방울을 녹인 뒤, ESC에서 나온 전선을 끼워 넣는다
- ③ 인두기로 납땜 부위를 매끈하게 다듬는다 (납 부족 시 추가)



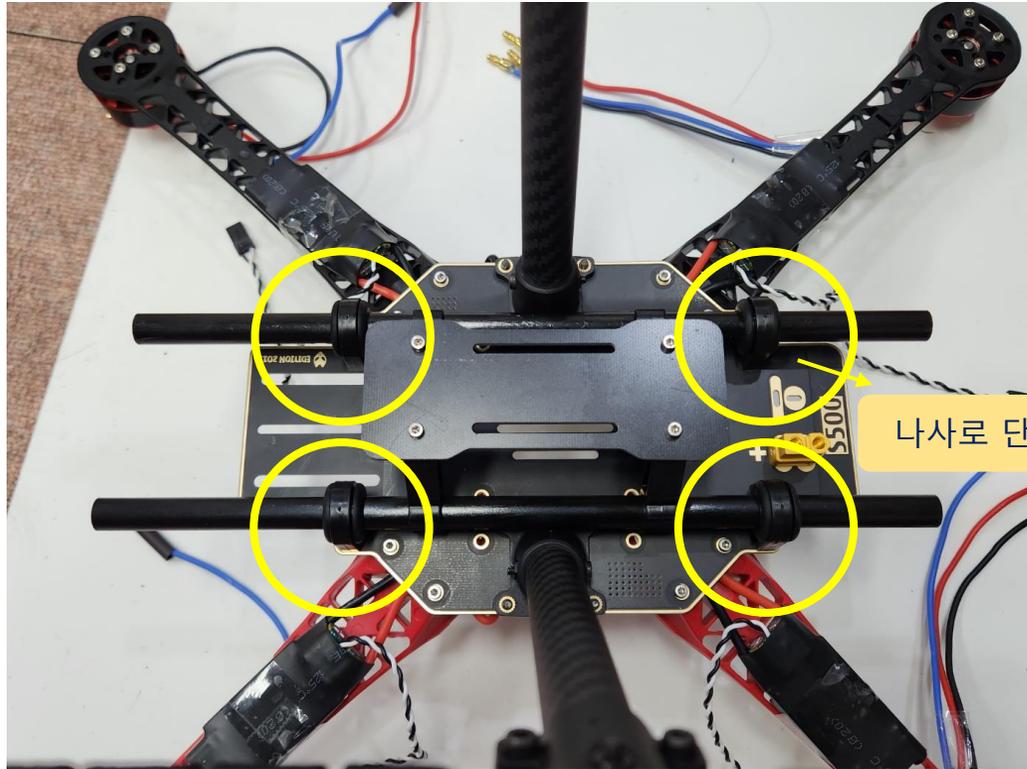
조립 순서

4) 랜딩 기어 조립



조립 순서

5) 배터리 트레이 조립



아래에서 본 모습

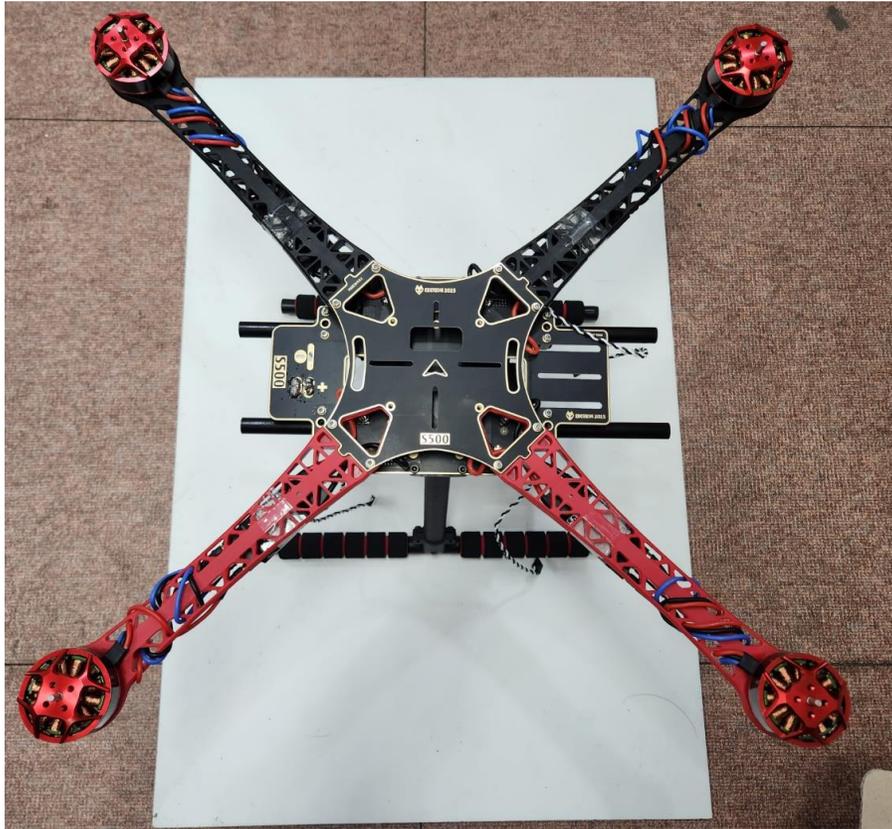


위에서 본 모습

조립 순서

6) 윗 기판 조립

Tip : 나사 구멍이 맞지 않는다면, 억지로 끼워 넣지 말고
아래 기판의 나사도 살짝 풀어 구멍을 맞춘 뒤 상하좌우 번갈아 가면서 조금씩 조여준다

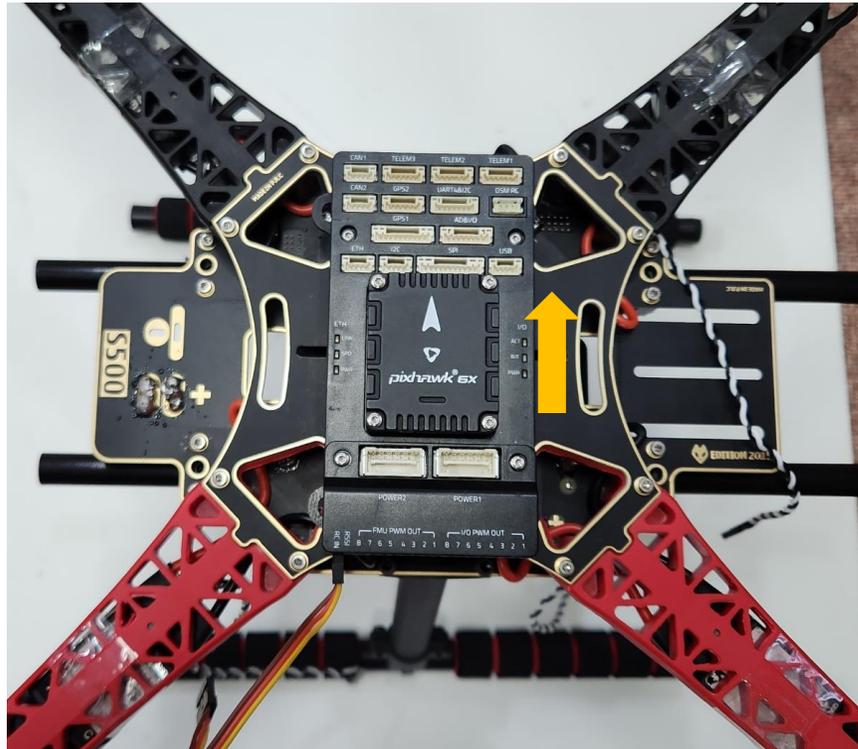


조립 순서

7) 픽스호크(FC) 부착

1) 양면 테이프를 활용해 부착

2) 정중앙에 위치하도록 조심해서 부착 !!

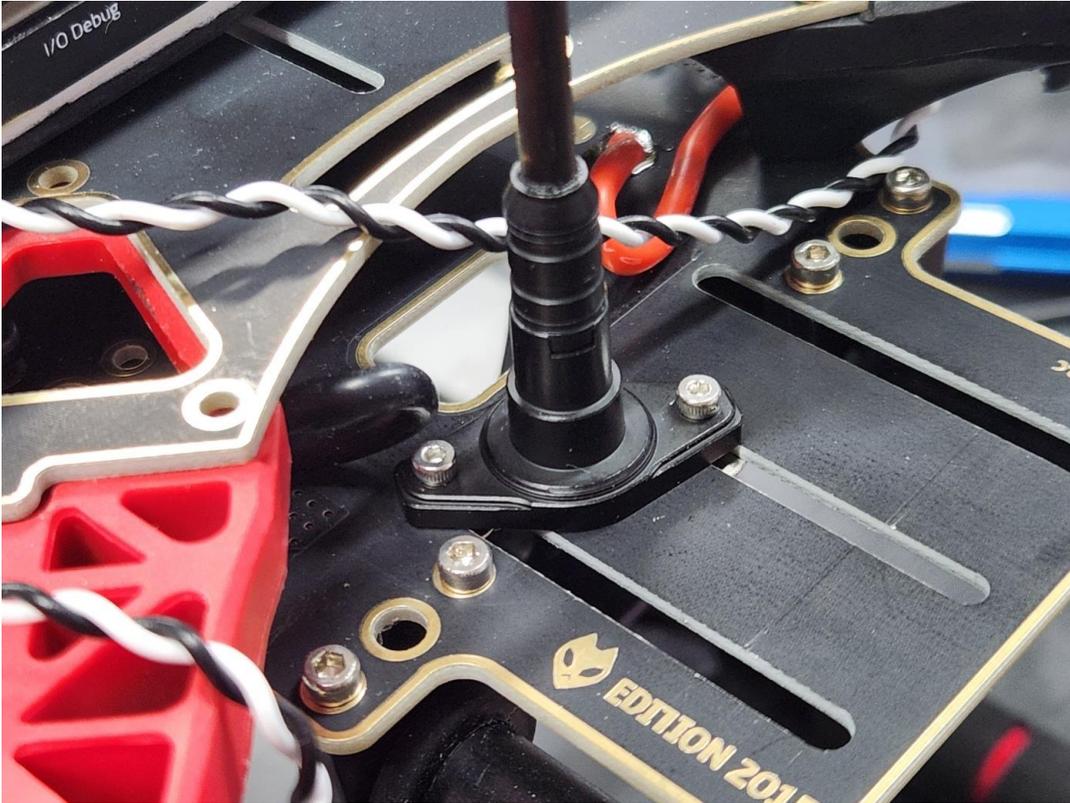


정면

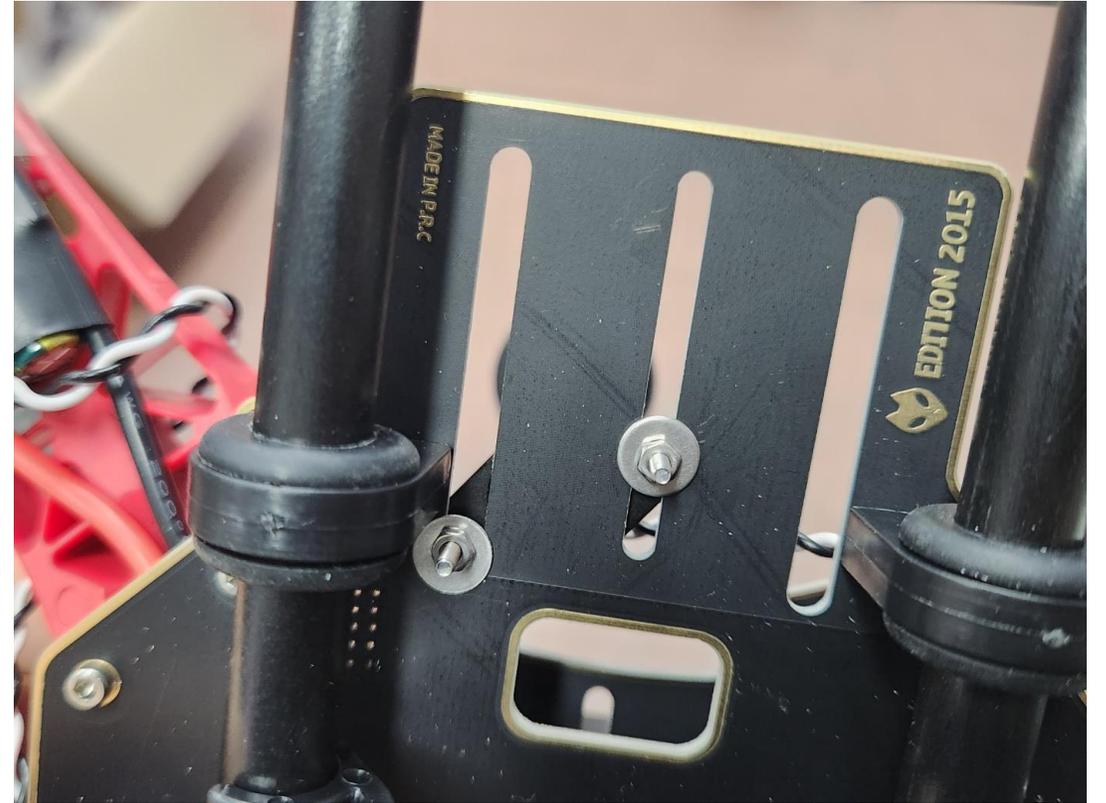


8) GPS 조립 및 부착

당연하지만 실제 대회용 기체는 훨씬 단단히 고정 필요!



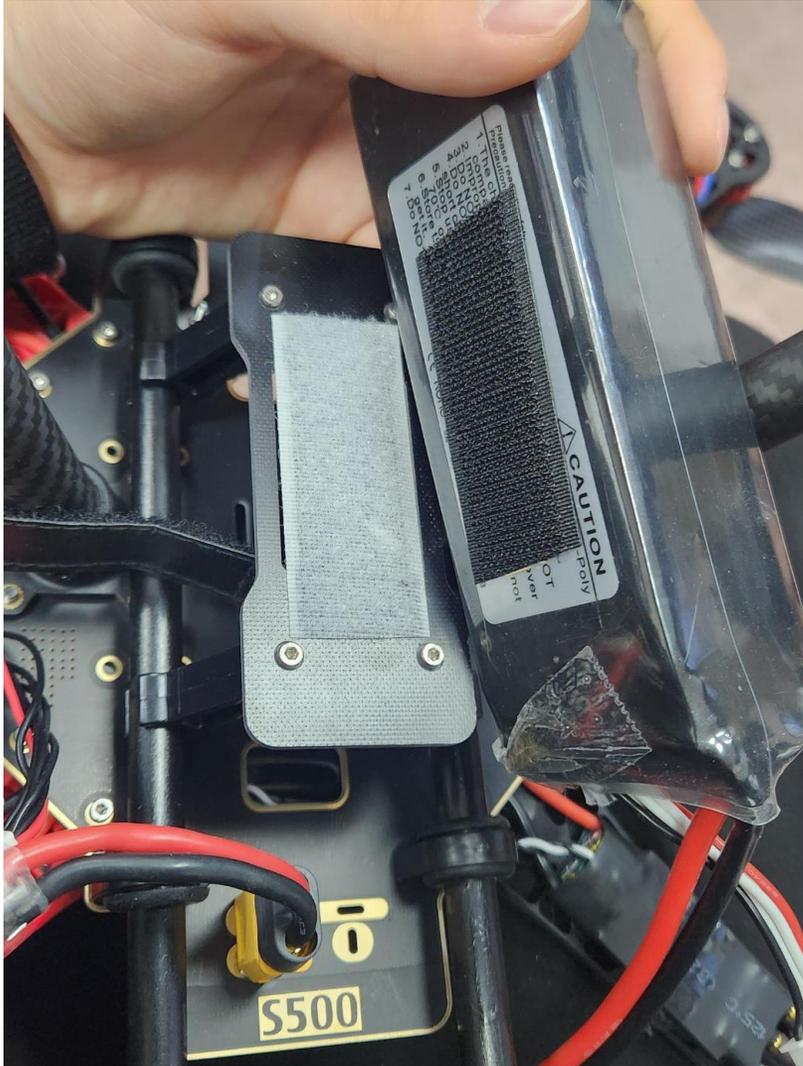
지지대를 위에서 바라본 모습



지지대를 아래에서 바라본 모습

9) 배터리 고정

벨크로로 2~3회 감아 단단히 고정



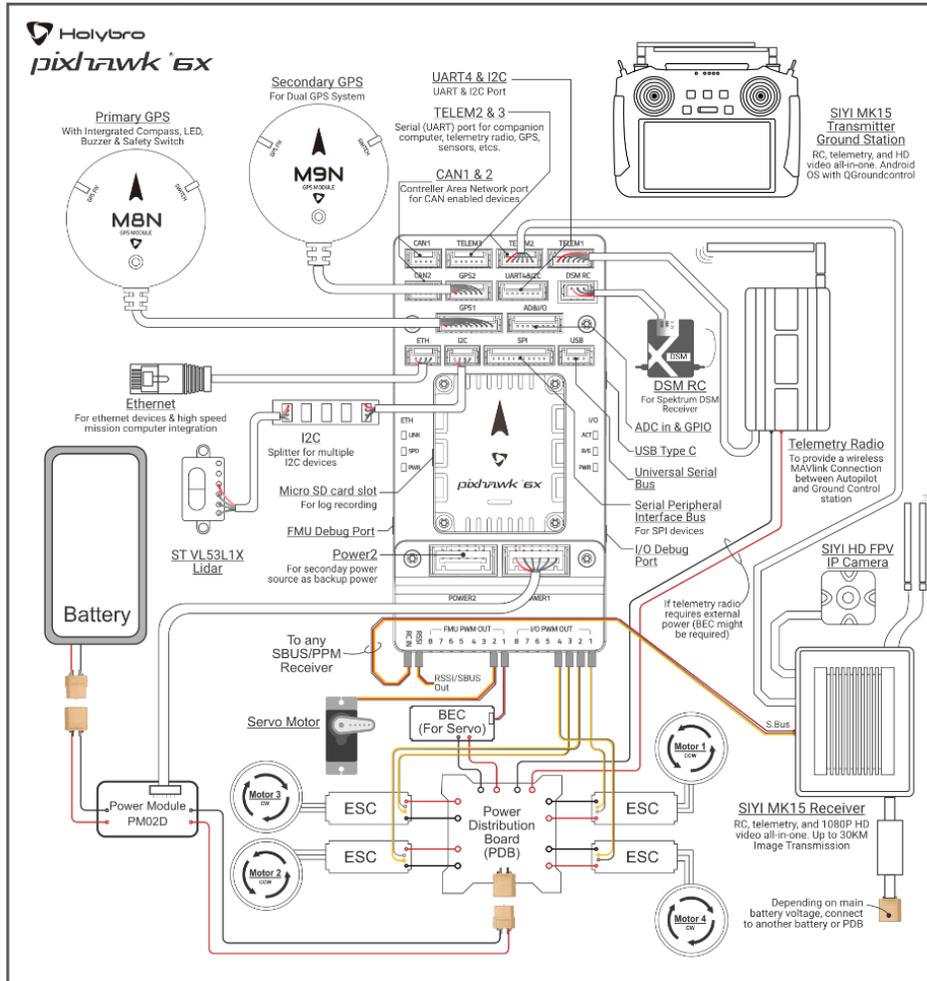
조립 순서

10) 배선 연결

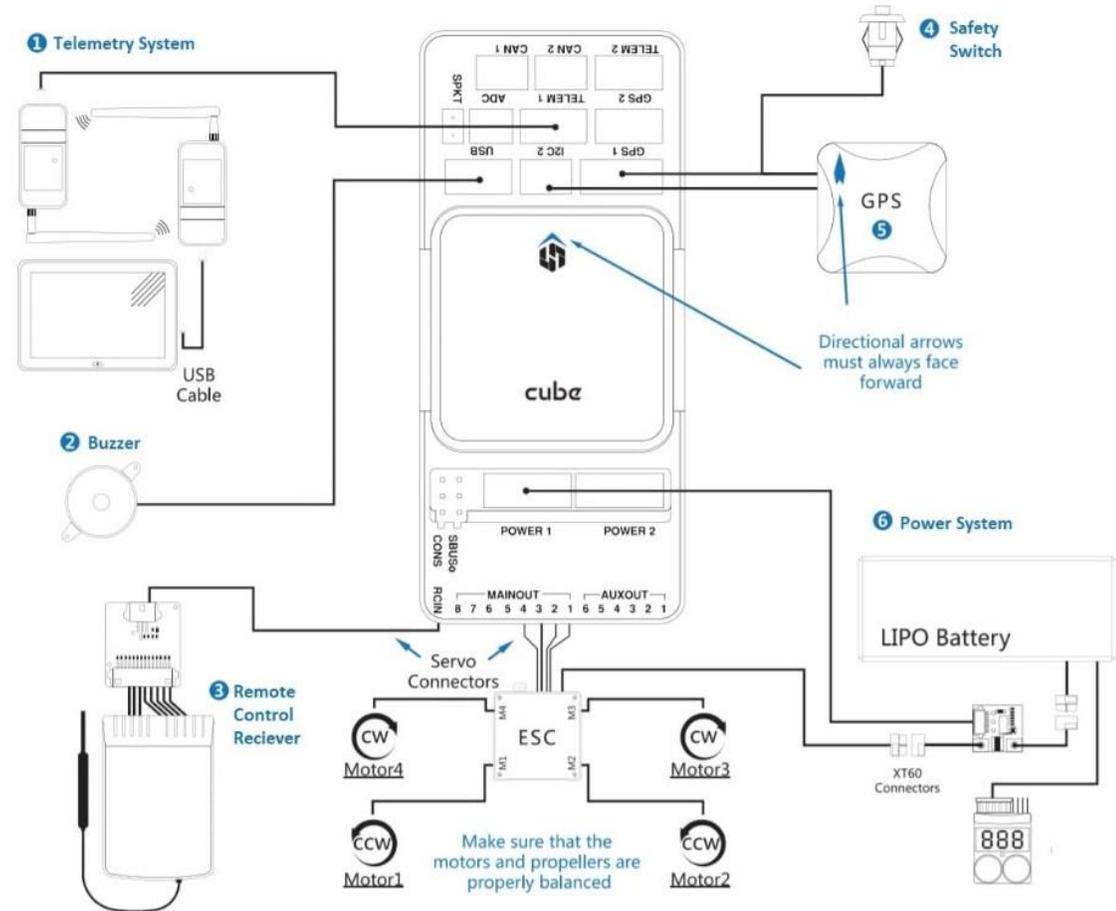
기본 연결 (픽스호크 제품마다 배선 및 호환 제품이 다름)

- 1) Power
- 2) 수신기
- 3) GPS 모듈
- 4) 모터 1,2,3,4

Pixhawk 6x



Pixhawk Cube

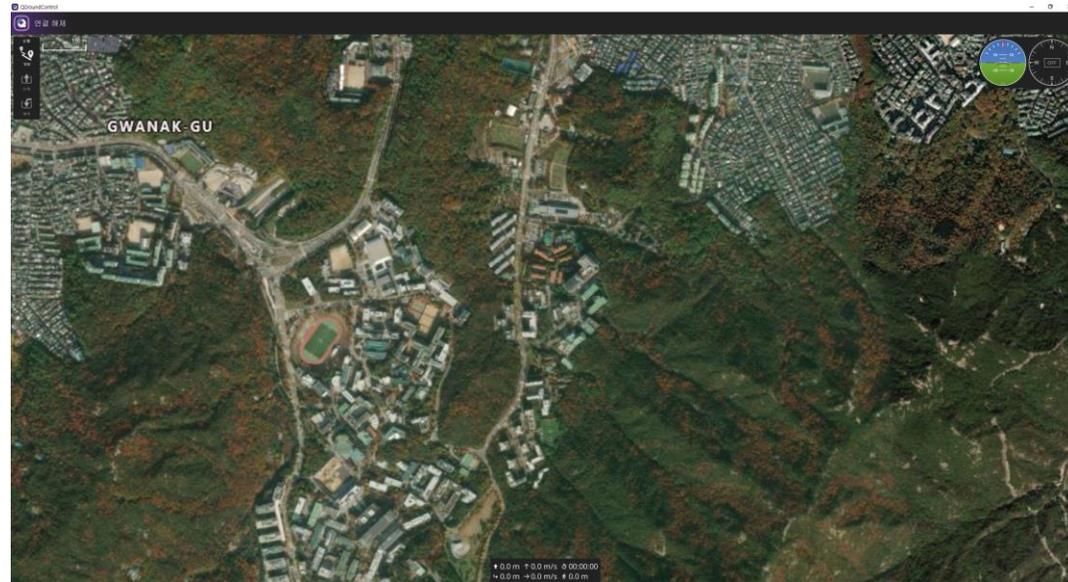


기체 세팅

여기까지 잘 왔다면 조교에게 **전반적인 조립 상태**에 대한 검사를 받습니다

- 전선들이 올바른 곳에 연결되었는지 확인 (빨강 : + / 검정 : -)
- 전선들이 잘 고정되어 있으며, 혹시 프로펠러와 닿는 위치는 아닌지 확인
- FC (픽스호크)가 정중앙에 잘 위치하는지 확인
- 나사들이 단단히 고정되었는지 확인

확인을 받았다면, **QGroundControl**을 실행



QGroundControl 설치 방법

https://docs.qgroundcontrol.com/master/en/qgc-user-guide/getting_started/download_and_install.html

윈도우, 맥, 리눅스 전부 쉽게 설치 가능

QGC (QGroundControl)이란?



- **지상부, GCS** (Ground Control System) 이라고도 하며, 위성 지도를 포함한 직관적인 GUI을 가지고 있다.
- 기체의 파라미터 세팅, 센서 캘리브레이션, 임무 중 명령을 내리는 등 다양한 작업을 쉽게 진행할 수 있어 미션 진행에 필수적인 프로그램
- Pixhawk 보드에 PX4 펌웨어를 올린 뒤, QgroundControl를 GCS로 함께 운용하는 조합이 많이 사용됨
- **픽스호크(기체) 내부에 접속하는 프로그램이다!** 라고 생각하면 좋음

QGC 핵심 기능 사용 예시:

- 1) 기체의 현재 위치를 지도 상에 표시
- 2) 센서, 조종기 및 각종 파라미터(ex. PID Gain) 세팅을 진행
- 3) 지상에서 QGC를 통해 기체에게 여러 명령 전달 가능 (ex. 이/착륙 명령, 위치 이동 명령)
- 4) 기체에 접속해 기체 내부에서 돌아가는 메시지를 읽을 수 있다 (ex. 현재 배터리 상태, 현재 GPS 값 etc)

Etc...

기체 내부에 접속하는 것이므로, 기체 내부에서 돌아가고 있는 PX4 펌웨어와 관련된 다양한 활용이 가능하다

QGroundControl 기초

The screenshot shows the QGroundControl interface with several key elements and annotations:

- Top Bar:** Status indicators for "비행 준비 완료" (Flight Ready), "Stabilized", battery level (10/1.6), and signal strength. Includes a "확인" (Check) button and a "GX4" logo.
- Left Panel:** A vertical menu with options: 비행 (Flight), 계획 (Plan), 이륙 (Takeoff), and 복귀 (Return). Below it, a "비행모드" (Flight Mode) dropdown menu is open, showing options: Stabilized, Acro, Rattitude, 고도 (Altitude), 오프보드 (Offboard), 위치 (Position), 대기 (Hold), 미션 (Mission), 복귀 (Return), 따라다니기 (Follow), and 정밀 착륙 (Precision Landing).
- Annotations:**
 - A yellow "Click!" box points to the "비행모드" dropdown.
 - A green box labeled "비행 중 발생한 에러나 메시지 확인 가능" (Check for errors or messages during flight) points to the "확인" button.
 - A yellow "Click!" box points to the "GPS 상태 확인" (Check GPS status) button.
 - A green box labeled "기체 자세계" (Airframe Attitude) points to the attitude indicator, with text explaining that it can be used to check if the airframe is properly connected by moving it manually.
 - A green box labeled "현재 위치" (Current Position) points to a red arrow on the map.
- GPS State Panel:** A dark panel titled "GPS 상태" (GPS Status) showing:
 - GPS 카운트: 16
 - GPS 고정: 3D Lock
 - HDOP: 0.9
 - VDOP: 1.3
 - 지상 궤적: 173.9
- Attitude Indicator:** A circular gauge showing roll and pitch angles, with a heading of 269 degrees.
- Bottom Panel:** A dark panel showing current flight data:
 - Altitude: -0.1 m
 - Vertical Speed: -0.0 m/s
 - Time: 00:00:00
 - Horizontal Speed: 0.2 m
 - Horizontal Direction: 0.1 m/s
 - Heading: 0.0 m

QGroundControl 기초

The screenshot shows the QGroundControl interface with several annotations:

- RC 확인** (RC Check): A green box with a yellow "Click!" label pointing to the "확인" (Check) button in the top status bar.
- 배터리 확인 전압 & 잔량을 % 값으로 표시** (Battery Check): A green box with a yellow "Click!" label pointing to the battery status icon in the top status bar.
- 다음 Page** (Next Page): A green box with a yellow "Click!" label pointing to the "이륙" (Takeoff) button in the left sidebar.
- 도구 선택하기** (Select Tool): A dark grey menu box with a "Close" button, containing:
 - 기체 설정 (Vehicle Settings)
 - 분석 도구 (Analysis Tools)
 - 응용프로그램 설정 (Application Settings)

At the bottom of the interface, flight data is displayed:

↑ -0.1 m ↑ -0.0 m/s ⌚ 00:00:00
↳ 0.2 m → 0.1 m/s ⚡ 0.0 m

QGroundControl 기초

앞 페이지에서 기체 설정을 클릭하면 나오는 화면

QGroundControl

뒤로 가기 < 기체 설정

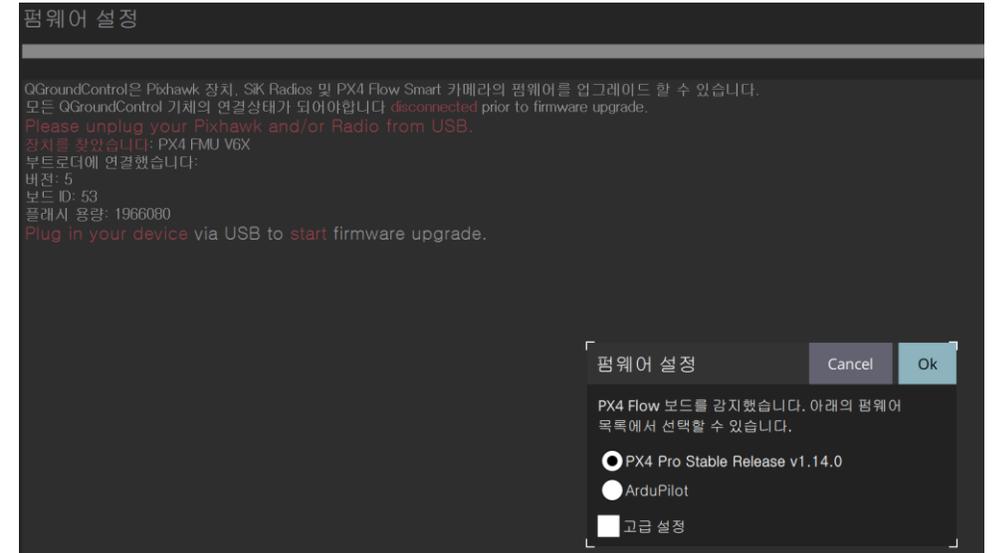
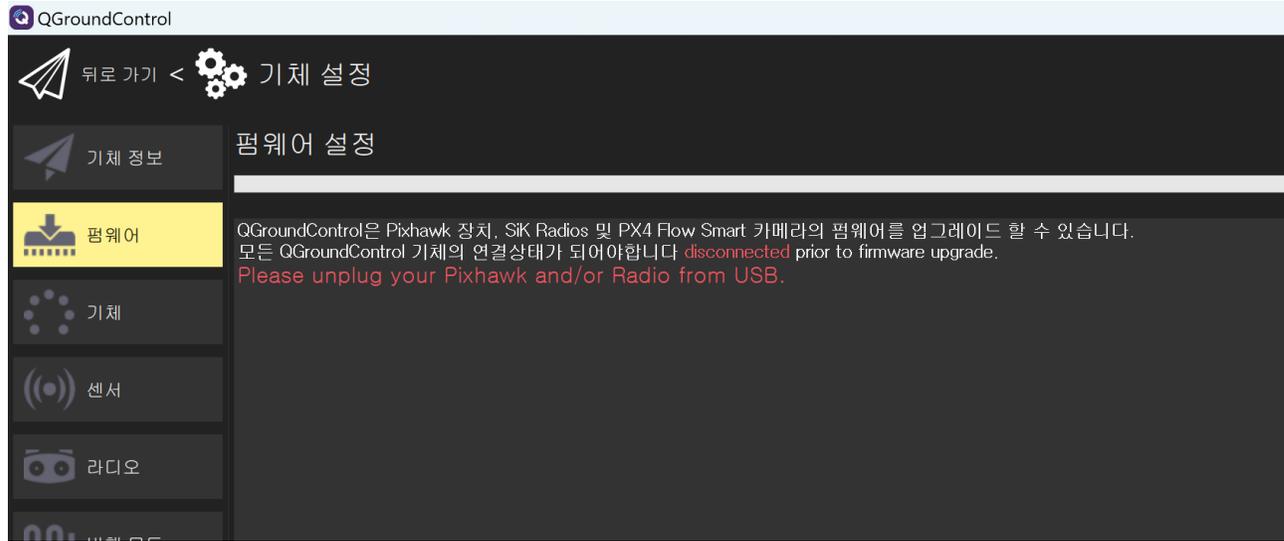
기체의 설정에 대한 요약은 아래에서 찾을 수 있습니다. 왼쪽에는 각 항목에 대한 설정메뉴가 있습니다

기체	센서	라디오	비행 모드
<p>시스템 ID: 1</p> <p>기체 타입: Quadrotor x</p> <p>기체: Generic Quadcopter</p> <p>펌웨어 버전: 1.14.0</p> <p>커스텀 펌웨어 버전: 0.0.0</p>	<p>지자기 센서 0: 준비 완료</p> <p>지자기 센서 1: 준비 완료</p> <p>자이로스코프 센서: 준비 완료</p> <p>가속도 센서: 준비 완료</p>	<p>롤: 1</p> <p>피치: 2</p> <p>요: 4</p> <p>스로틀: 3</p> <p>Aux1: 비활성화</p> <p>Aux2: 비활성화</p>	<p>모드 스위치: Channel 7</p> <p>비행 모드 1: Stabilized</p> <p>비행 모드 2: Unassigned</p> <p>비행 모드 3: Unassigned</p> <p>비행 모드 4: Unassigned</p> <p>비행 모드 5: Unassigned</p> <p>비행 모드 6: Position</p>
전원	안전	카메라	
<p>배터리 충전이 완료되었습니다. 4.05 V</p> <p>배터리 방전됨 3.50 V</p> <p>셀 수: 3</p>	<p>배터리방전 안전장치: Warning</p> <p>RC 연결 안전장치: Return mode</p> <p>RC 연결 타임아웃: 0.5 s</p> <p>데이터링크 안전장치: Disabled</p> <p>RTL 상승: 30.0 m</p> <p>RTL, 실행후: 즉시 착륙</p>	<p>트리거 인터페이스: Disable</p> <p>트리거 모드: Disable</p>	

펌웨어
 기체
 센서
 라디오
 비행 모드
 전원
 Actuators
 안전
 PID 튜닝
 Flight Behavior
 카메라
 파라미터

QGroundControl 기초

기체 설정 - 펌웨어



USB 선으로 연결된 상태에서, 선을 뽑았다 다시 끼우면 자동으로 PX4 Stable version 펌웨어 업로드가 진행된다. (추후 PX4 firmware를 직접 개발 혹은 건드리게 된다면, PX4 firmware 폴더에서 직접 make 후 업로드 하는 것이 더 편하다)

QGroundControl 기초

기체 설정 - 기체



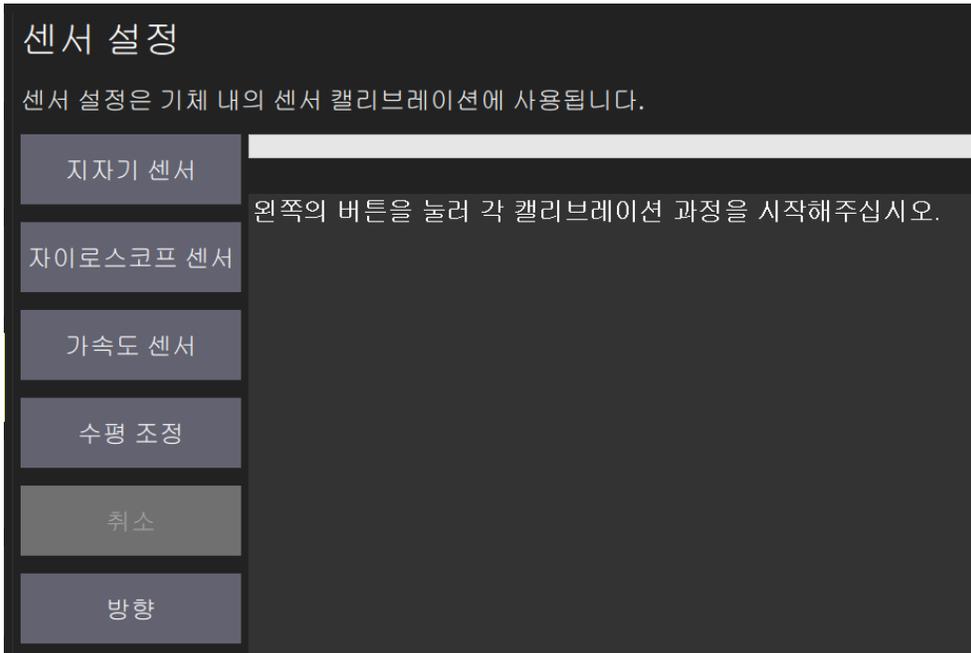
Generic Quadcopter 설정

QGroundControl 기초

기체 설정 - 센서 캘리브레이션

1) 지자기 센서

그림에 맞춰 기체를 천천히 돌려준다. 유선으로 연결한 경우, 선이 과도하게 꼬이지 않도록 유의한다.



QGroundControl 기초

기체 설정 - 센서 캘리브레이션

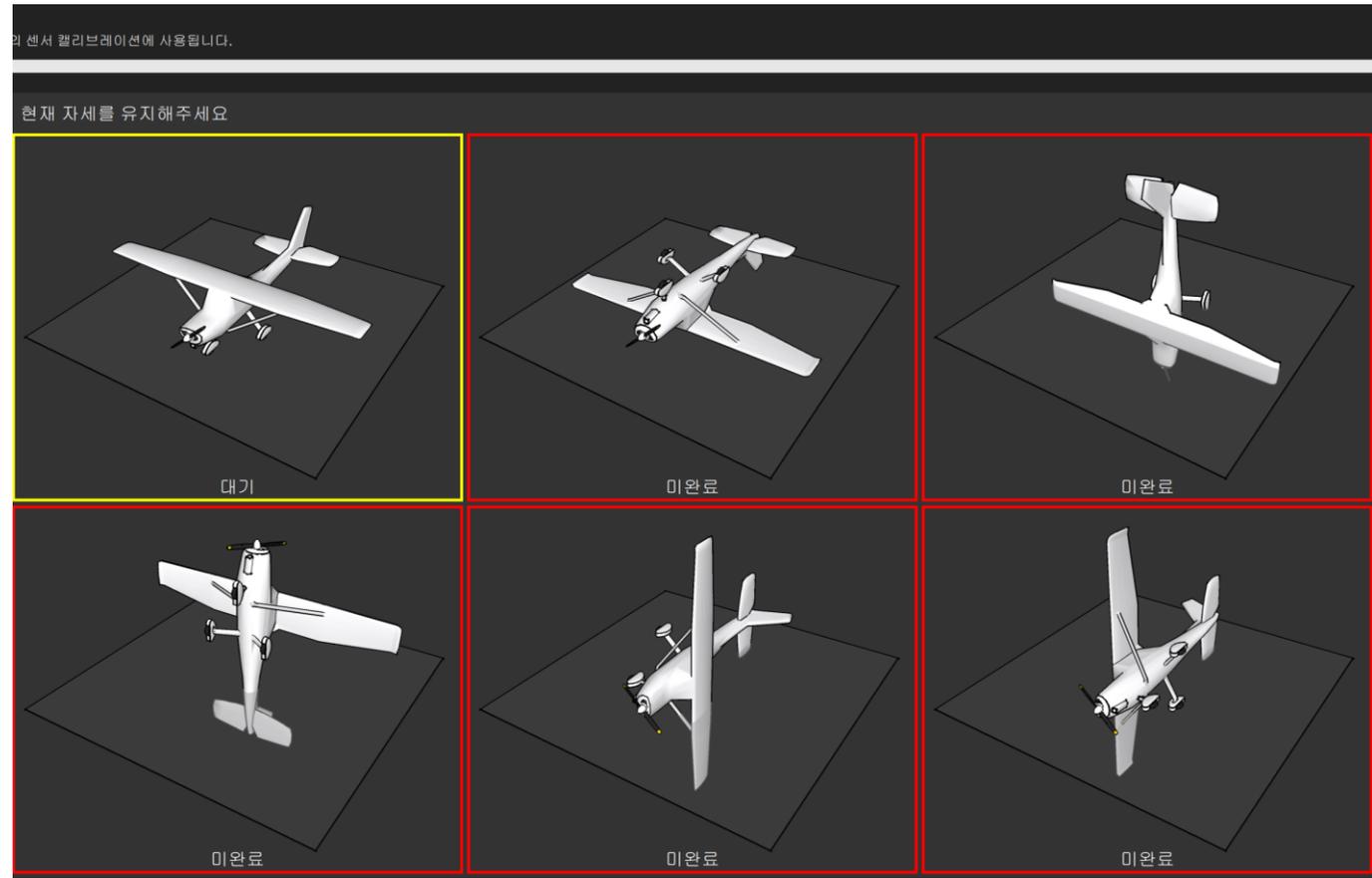
2) 자이로 센서

평평한 지면에 가만히 놔두면 된다



3) 가속도 센서

기체 방향을 각각의 그림과 일치시킨 뒤, 흔들리지 않게 자세를 유지한다.



QGroundControl 기초

기체 설정 - 센서 캘리브레이션

4) 수평 조정

평평한 지면에 가만히 놔두면 된다

의 센서 캘리브레이션에 사용됩니다.

왼쪽의 버튼을 눌러 각 캘리브레이션 과정을 시작해주시오.

```
[cal] calibration started: 2 level
[cal] progress &lt;0&gt;
[cal] progress &lt;20&gt;
[cal] progress &lt;40&gt;
[cal] progress &lt;60&gt;
[cal] progress &lt;80&gt;
[cal] progress &lt;100&gt;
[cal] progress &lt;100&gt;
[cal] calibration done: level
```

- 센서 캘리브레이션을 통해 생성된 값들은 파라미터의 형태로 픽스호크 내부에 저장된다
- 캘리브레이션은 실내에서 해서 야외로 나가도 되지
만, 혹시나 모를 에러를 방지하기 위해 비행 전에 한
번 다시 수행해주자

QGroundControl 기초

기체 설정 - 라디오

라디오 설정

라디오 설정은 조종기를 캘리브레이션에 사용됩니다. 또한 롤, 피치, 요, 스로틀의 채널을 설정하고 반대로 설정되어 있는지 설정합니다

자세 제어를 모드 1 모드 2

롤

피치

요

스로틀

건너뛰기 취소 **캘리브레이션 시작** Click!

추가 라디오 설정:

AUX1 Passthrough RC channel AUX2 Passthrough RC channel

PARAM1 tuning channel PARAM2 tuning channel

PARAM3 tuning channel

Spektrum 바인드 트림 복사

Channel Monitor

1	<input type="checkbox"/>	2	<input type="checkbox"/>
3	<input type="checkbox"/>	4	<input type="checkbox"/>
5	<input type="checkbox"/>	6	<input type="checkbox"/>
7	<input type="checkbox"/>	8	<input type="checkbox"/>
9	<input type="checkbox"/>	10	<input type="checkbox"/>
11	<input type="checkbox"/>	12	<input type="checkbox"/>
13	<input type="checkbox"/>	14	<input type="checkbox"/>
15	<input type="checkbox"/>	16	<input type="checkbox"/>
17	<input type="checkbox"/>	18	<input type="checkbox"/>

왼쪽 모습으로 조종기 스틱을 두고 시작한 뒤, 화면에서 시키는 대로 스틱과 버튼을 움직여 준다.

QGroundControl 기초

기체 설정 - 비행 모드

비행 모드 설정

비행 모드 설정은 조종기의 스위치에 비행 모드를 할당합니다.

비행 모드 설정

스위치 세팅

각 스위치에 비행 모드를 할당하여 비행 중 변경 가능.

모드 채널: Channel 7 ▼

비행 모드 1: Stabilized ▼

비행 모드 2: Unassigned ▼

비행 모드 3: Unassigned ▼

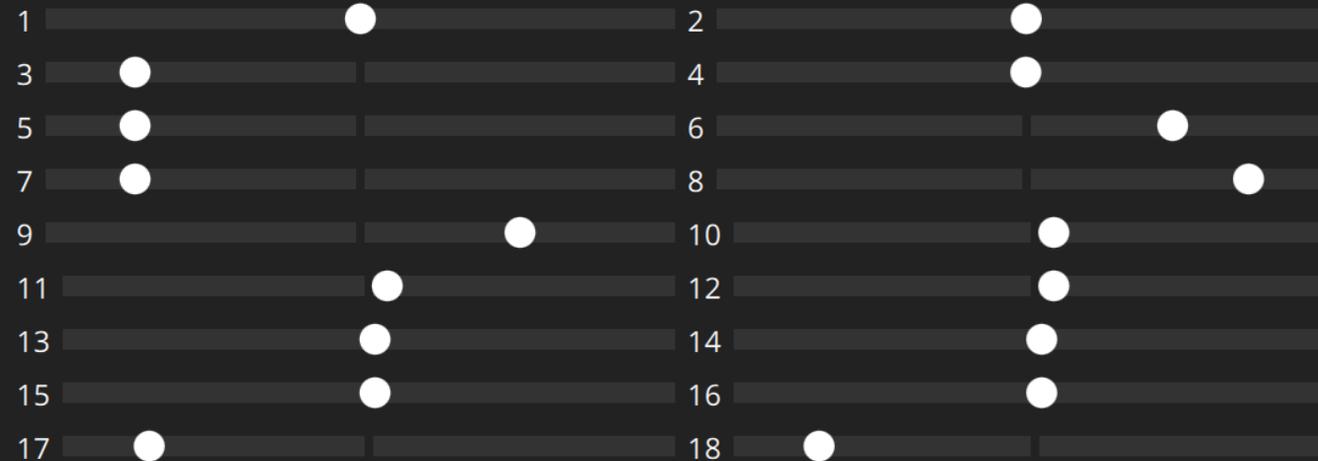
비행 모드 4: Unassigned ▼

비행 모드 5: Unassigned ▼

비행 모드 6: Position ▼

Arm switch channel	Unassigned ▼	Landing gear switch channel	Unassigned ▼
Emergency Kill switch channel	Unassigned ▼	Loiter switch channel	Unassigned ▼
Offboard switch channel	Unassigned ▼	Return switch channel	Unassigned ▼

Channel Monitor



QGroundControl 기초

기체 설정 - 전원

** 중요 ** ESC 캘리브레이션

- 1) 프로펠러와 배터리를 제거하고, USB 선으로만 연결된 상태에서 캘리브레이션 시작 버튼을 누른다.
- 2) 배터리를 연결하고 기다리면 ESC에서 삐삐씩 하는 소리와 함께 캘리브레이션이 진행된다.

ESC에서 소리가 나는 많은 에러는 이 작업을 통해 해결되는 경우가 많다.

배터리1

원본 Power Module

셀의 수(직렬) 3

방전 전압 (셀 당) 3.0

전체 전압 (셀 당) 9.0

전압 분배기 18.18199921

계산하기

만약 외부 전류계로 측정된 전압이 기체가 표시한 전압과 차이가 많이 난다면, 배전압(volt) 조정해서 해결할 수 있습니다. 새로운 값을 계산하기 위해 계산하기 버튼을 눌러주세요.

볼트 당 암페어 36.36399841

계산하기

만약 외부 전류계로 측정된 전류가 기체가 표시한 전류와 차이가 많이 난다면, 볼트 당 암페어 조정해서 해결할 수 있습니다. 새로운 값을 계산하기 위해 계산하기 버튼을 눌러주세요.

고급 설정 표시

배터리2

원본 Disabled

ESC PWM 최소, 최대값 캘리브레이션

경고: 프로펠러는 ESC 캘리브레이션을 수행하기 전에 반드시 분리되어야 합니다.
이 작업은 반드시 USB가 연결되어야 합니다.

캘리브레이션 시작

전압 분배기 계산 Close

전압계를 이용하여 배터리 전압을 측정하고 아래 값과 비교해주시오. 새로운 전압 배수를 적용하기 위해서 계산을 눌러주세요.

측정 전압: []

기체 전압: ---

전압 분배기 18.18199921

계산하기

전압 체커기가 있다면, 배터리의 실제 전압과, 픽스호크가 측정한 전압이 같도록 캘리브레이션을 진행

변속기 (ESC) 캘리브레이션

- 조종기 활용 (실습에 사용되는 ESC)

GT-Drone EC-X3 ESC for Multicopters (30A/500Hz/OPTO/COB/2S~6S)

드론용 펌웨어가 탑재된 멀티콥터용 브러시리스 변속기입니다.

최저 50Hz ~ 최대 500Hz 의 Input Rate 를 지원하며, 별도의 셋팅 없이 바로 장착 후 사용이 가능합니다.

드론 전용으로 최상의 해상도를 구현하고 있으며, 7.4V ~ 22.2V (2S ~ 6S) 리튬폴리머 배터리를 사용할 수 있습니다.

450 ~ 600급 드론에 사용하기에 최적의 제품으로, BEC 가 없는 OPTO 방식입니다.

모터와 연결하기 위한 3.5mm 골드잭이 기판에 미리 부착되어 있는 COB 타입입니다. (납땀 필요 없음)

- 100% 고품질 N-FET 채용.
- 온도에 따른 PWM 스위칭 레이트에 영향을 주지 않는 고정밀 크리스탈 오실레이터 채용.
- 최대 500Hz Input Rate
- 16Khz 동작 클럭으로 대부분의 FC 및 수신기와 호환성 유지
- 스로틀 캘리브레이션 후 별도의 세팅없이 바로 사용 가능.

[상세 제원]

- 연속 전류 : 30A
- 순간 전류 : 35A (10 초 미만)
- BEC : No BEC (OPTO)
- 입력전압 : 2S(7.4V)~6S(22.2V) 지원
- 무게 : 약 23g (골드잭 포함)
- 크기 : 60x25x8mm

[변속기 스로틀 캘리브레이션 방법]

1. 조종기 스틱을 100%에 둔 후 변속기에 전원을 넣습니다.
2. 변속기 쪽에서 삐~삐~ 하는 소리가 나면 스로틀을 0%로 내립니다.
3. 변속기의 전원을 OFF 합니다.
4. 변속기 스로틀 캘리브레이션 완료

QGroundControl 기초

기체 설정 - Actuators

Actuators 설정

Geometry: Multirotor

Motors: 4

	Position X	Position Y	Direction CCW
Motor 1:	0.15	0.15	<input checked="" type="checkbox"/>
Motor 2:	-0.15	-0.15	<input checked="" type="checkbox"/>
Motor 3:	0.15	-0.15	<input type="checkbox"/>
Motor 4:	-0.15	0.15	<input type="checkbox"/>

Actuator Testing

Propellers are removed - Enable sliders

All Motors, Motor 1, Motor 2, Motor 3, Motor 4, Gripper

Actuator Outputs

PWM AUX | PWM MAIN | UAVCAN

Identify & Assign Motors

MAIN	Function	Disarmed	Minimum	Maximum	Rev Range (for Servos)
MAIN 1-2	PWM 400 Hz				
MAIN 1:	Motor 1	1000	1100	1900	<input type="checkbox"/>
MAIN 2:	Motor 2	1000	1100	1900	<input type="checkbox"/>
MAIN 3-4	PWM 400 Hz				
MAIN 3:	Motor 3	1000	1100	1900	<input type="checkbox"/>
MAIN 4:	Motor 4	1000	1100	1900	<input type="checkbox"/>
MAIN 5-8	PWM 400 Hz				
MAIN 5:	Disabled	1000	1000	2000	<input type="checkbox"/>
MAIN 6:	Disabled	1000	1000	2000	<input type="checkbox"/>
MAIN 7:	Disabled	1000	1000	2000	<input type="checkbox"/>
MAIN 8:	Disabled	1000	1000	2000	<input type="checkbox"/>

픽스호크 보드의 각 pin output이 어떤 모터에 명령을 내릴지를 할당

모터 방향이 잘 연결되었는지 확인 작업 진행

Identify & Assign Motors

주의

- 1) 프로펠러 제거
- 2) 전압이 배터리로 공급되고 있는지 확인

모터 1, 2, 3, 4의 회전 방향이 왼쪽 그림과 다르다면, 해당 모터와 연결된 ESC의 아무 선 2개를 서로 바꿔서 연결!!

QGroundControl 기초

기체 설정 - 안전

여러 안전 관련 설정들..

Battery1 안전장치 트리거

안전장치 명령: Warning

배터리 경고 레벨: 15.00 %

배터리 안전장치 레벨: 7.00 %

배터리 비상 레벨: 5.00 %

Object Detection

충돌 방지: 비활성화

장애물 회피: 비활성화

최소 거리 (m): 1

Show obstacle distance overlay

RC 연결 안전장치 트리거

안전장치 명령: Return mode

RC 연결 타임아웃: 0.5 s

데이터링크 안전장치 트리거

안전장치 명령: Disabled

데이터링크 시간초과: 10 s

경계선(면) 안전장치 트리거

경계선(면) 안전장치 트리거

위반시 행동: Hold mode

최대 반지름: 0 m

최대 고도: 0 m

Return To Launch Settings

고도로 상승: 30.0 m

Return to launch, then:

- 즉시 착륙
- 정지비행 후 착륙하지 않기
- 정지비행 후 정의된 시간 후 착륙

정지비행 시간: 0.0 s

정지비행 고도: 10.0 m

착륙모드 설정

착륙 하강률: 0.7 m/s

비활성화: 2.0 s

기체 텔레메트리 로깅

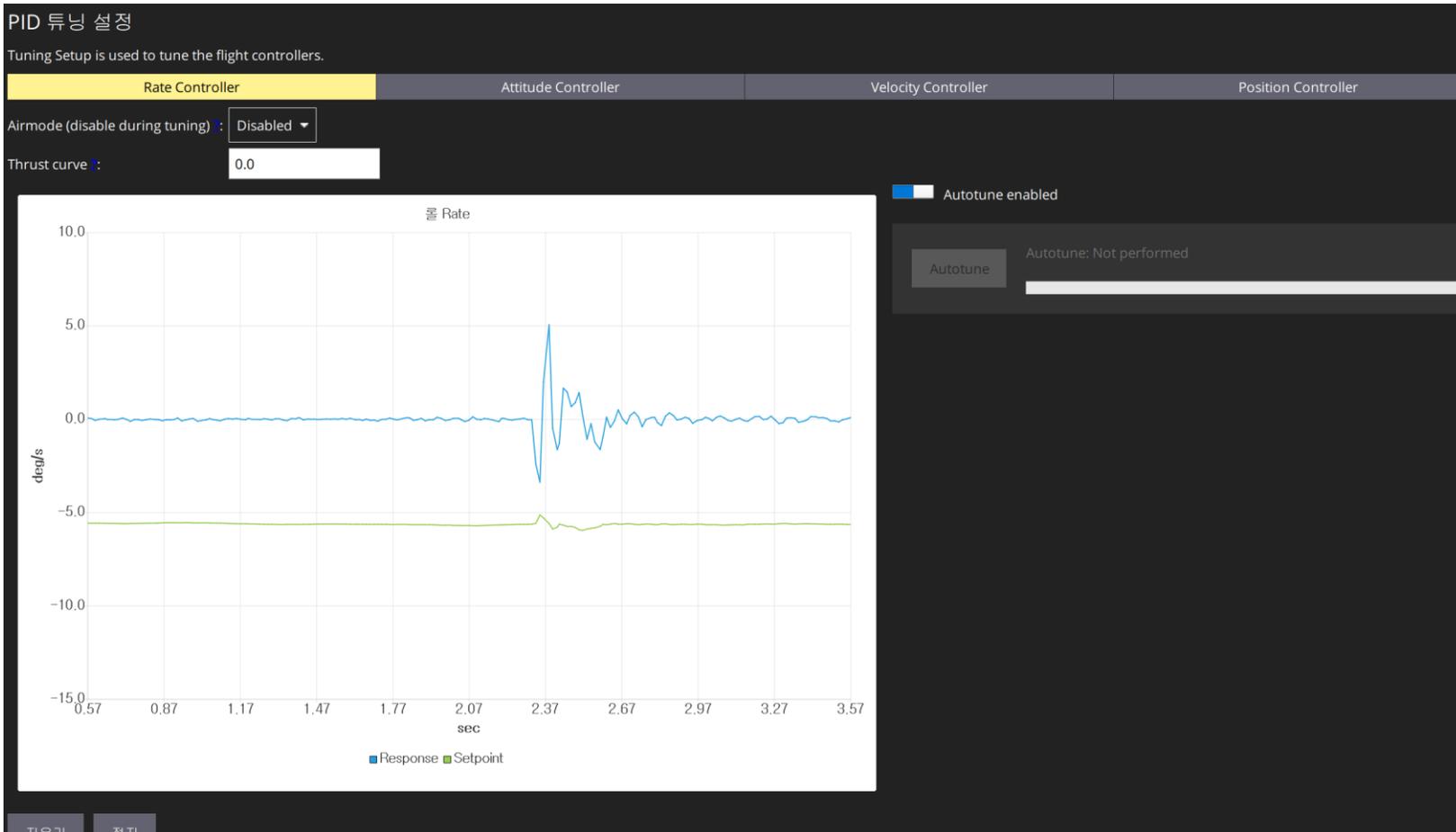
Telemetry logging to vehicle storage: 활성화

QGroundControl 기초

기체 설정 - PID 튜닝

https://docs.px4.io/main/en/config_mc/pid_tuning_guide_multicopter.html

쉽게 말하면, 각 축 방향에 대해서 제어기의 반응성을 조절하는 것! 기체의 특성에 따라 적절한 PID Gain 값을 찾아야 안정적인 비행이 가능하다. -> 상당히 어려운 문제이고, 보통 실험을 통해 적절한 값을 찾아야 한다.
위 링크 참조



QGroundControl 기초

기체 설정 – 파라미터

검색:	지우기	<input type="checkbox"/> 편집된 부분만 보기	
Standard	ADC_ADS1115_EN	Disabled	Enable external ADS1115 ADC
Sensors	CAL_AIR_CMODEL	Model with Pitot	Airspeed sensor compensation model for the SDP3x
Airspeed Validator	CAL_AIR_TUBED_MM	1.500 mm	Airspeed sensor tube diameter. Only used for the Tube Pressure Drop Compensation
Battery Calibration	CAL_AIR_TUBELEN	0.200 m	Airspeed sensor tube length
Camera Control	IMU_ACCEL_CUTOFF	30.000 Hz	Low pass filter cutoff frequency for accel
Geometry	IMU_DGYRO_CUTOFF	30.000 Hz	Cutoff frequency for angular acceleration (D-Term filter)
Commander	IMU_GYRO_CAL_EN	Enabled	IMU gyro auto calibration enable
Multicopter Position Control	IMU_GYRO_CUTOFF	40.000 Hz	Low pass filter cutoff frequency for gyro
DShot	IMU_GYRO_DNF_BW	15.000 Hz	IMU gyro ESC notch filter bandwidth
EKF2	IMU_GYRO_DNF_EN	0	IMU gyro dynamic notch filtering
Events	IMU_GYRO_DNF_HMC	3	IMU gyro dynamic notch filter harmonics
Failure Detector	IMU_GYRO_DNF_MIN	25.000 Hz	IMU gyro dynamic notch filter minimum frequency
Follow target	IMU_GYRO_NF0_BW	20.000 Hz	Notch filter bandwidth for gyro
FW TECS	IMU_GYRO_NF0_FRQ	0.000 Hz	Notch filter frequency for gyro
FW Rate Control	IMU_GYRO_NF1_BW	20.000 Hz	Notch filter 1 bandwidth for gyro
FW Attitude Control	IMU_GYRO_NF1_FRQ	0.000 Hz	Notch filter 2 frequency for gyro
Geofence	IMU_GYRO_RATEMAX	800 Hz	Gyro control data maximum publication rate (inner loop rate)
GPS	IMU_INTEG_RATE	200 Hz	IMU integration rate
Hover Thrust Estimator	INA226_CONFIG	18139	INA226 Power Monitor Config
	INA226_CURRENT	164.00	INA226 Power Monitor Max Current
	INA226_SHUNT	0.0005000000	INA226 Power Monitor Shunt

PX4-firmware 내부에 위치한 수많은 파라미터들을 변경할 수 있다.

이번 실습에서는 변경하지 않는다.

QGroundControl 기초

분석 도구 - 메인 화면에서 QGC 아이콘 눌러 진입 가능

비행 로그 다운로드

비행 로그는, 모터에 시동이 걸릴 때마다 자동으로 기록된다 (Arming)

The screenshot shows the QGroundControl application window. The top bar contains the title 'QGroundControl' and window control buttons. Below the title bar, there is a navigation area with a paper plane icon and the text '뒤로 가기 < 분석 도구'. A sidebar on the left contains several menu items: '로그 다운로드' (highlighted in yellow), '이미지에 지도정보 추가', 'Mavlink 콘솔', 'MAVLink 탐색기', and '진동'. The main content area displays a table of log files with columns for 'Id', '날짜' (Date), '크기' (Size), and '상태' (Status). A text box above the table explains that log downloads are binary files and that clicking '새로고침' (Refresh) will update the list. On the right side of the table, there are four buttons: '새로고침', '다운로드', '전체 삭제', and '취소'.

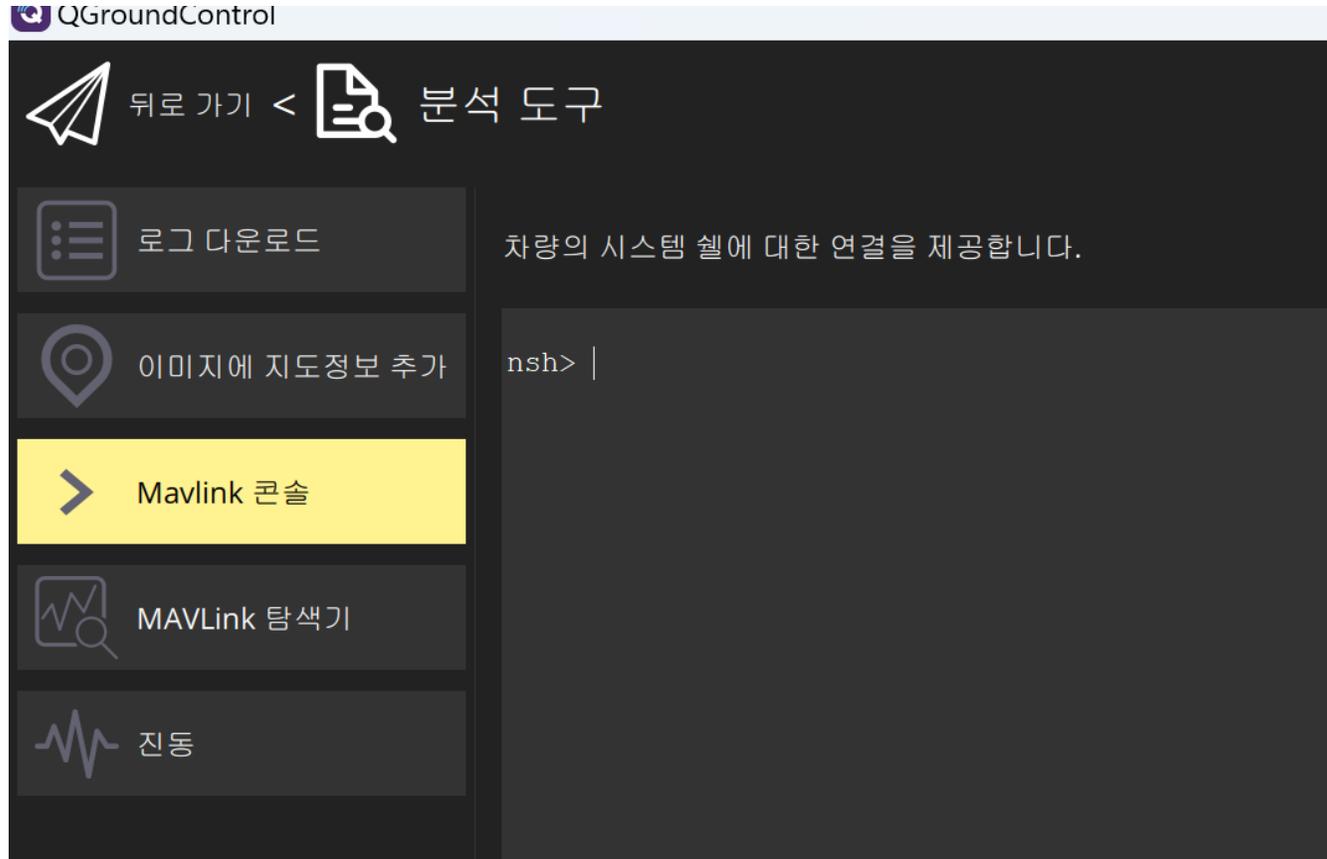
Id	날짜	크기	상태
0	2024-01-27 오후 11:56	385.6kB	사용가능
1	2024-01-27 오후 11:57	283.3kB	사용가능
2	2024-01-27 오후 11:57	527.7kB	사용가능
3	2024-01-27 오후 11:59	502.5kB	사용가능
4	2024-01-29 오후 9:17	319.1kB	사용가능
5	2024-01-29 오후 9:18	513.2kB	사용가능
6	2024-01-29 오후 9:20	515.0kB	사용가능
7	2024-01-30 오후 9:25	317.4kB	사용가능
8	2024-03-09 오후 3:17	367.4kB	사용가능
9	2024-03-09 오후 3:17	1,015.6kB	사용가능
10	2024-03-09 오후 3:18	1.0MB	사용가능
11	2024-03-09 오후 3:15	507.9kB	사용가능
12	2024-03-15 오후 2:11	1.0MB	사용가능
13	2024-03-15 오후 2:57	577.3kB	사용가능
14	2024-03-15 오후 3:24	492.3kB	사용가능
15	2024-03-15 오후 3:40	1.1MB	사용가능
16	2024-03-15 오후 3:41	1.3MB	사용가능

새로고침 -> 원하는 로그 클릭 -> 다운로드
로그 분석하는 방법은 뒤에서 다시 다룰 예정

QGroundControl 기초

분석 도구 - 메인 화면에서 QGC 아이콘 눌러 진입 가능

Mavlink 콘솔 : 픽스호크 내부에 접속하는 개념 !!
Listener & Commander 등 다양한 활용 가능 (PX4 firmware 참조)



사용 예시

listener vehicle_local_position 입력

```
nsh> listener vehicle_local_position

TOPIC: vehicle_local_position
vehicle_local_position
timestamp: 3395105988 (0.006241 seconds ago)
timestamp_sample: 3395105524 (464 us before timestamp)
ref_timestamp: 21752932
ref_lat: 37.454681
ref_lon: 126.952100
x: 5.75351
y: 7.48984
z: 34.99282
delta_xy: [0.00017, 0.00193]
delta_z: -0.02102
vx: 0.00643
vy: -0.01271
vz: 0.01970
z_deriv: 0.01262
delta_vxy: [-0.00110, 0.00251]
delta_vz: -0.00150
ax: 0.04737
ay: 0.12332
az: 0.08533
heading: -1.81223
delta_heading: 0.00174
ref_alt: 170.76042
dist_bottom: 0.09285
eph: 0.18843
epv: 0.18597
evh: 0.11022
evv: 0.08248
vxy_max: inf
vz_max: inf
hagl_min: inf
hagl_max: inf
xy_valid: True
z_valid: True
v_xy_valid: True
v_z_valid: True
xy_reset_counter: 6
z_reset_counter: 14
vxy_reset_counter: 6
vz_reset_counter: 6
heading_reset_counter: 6
heading_good_for_control: False
xy_global: True
z_global: True
dist_bottom_valid: False
dist_bottom_sensor_bitfield: 0
dead_reckoning: False
```

QGroundControl 기초

분석 도구 - 메인 화면에서 QGC 아이콘 눌러 진입 가능

Mavlink 콘솔 : 픽스호크 내부에 접속하는 개념 !!

Listener & Commander 등 다양한 활용 가능 (PX4 firmware 참조)

사용 예시

Commander arm 입력

```
nsh> commander arm
nsh> |
```

기체에 직접 시동을 거는 명령

이외에도 무궁무진한 활용 방안이 존재 !

Ex) PX4 firmware를 수정해서 나만의 명령어를 제작 가능 !

사용 예시

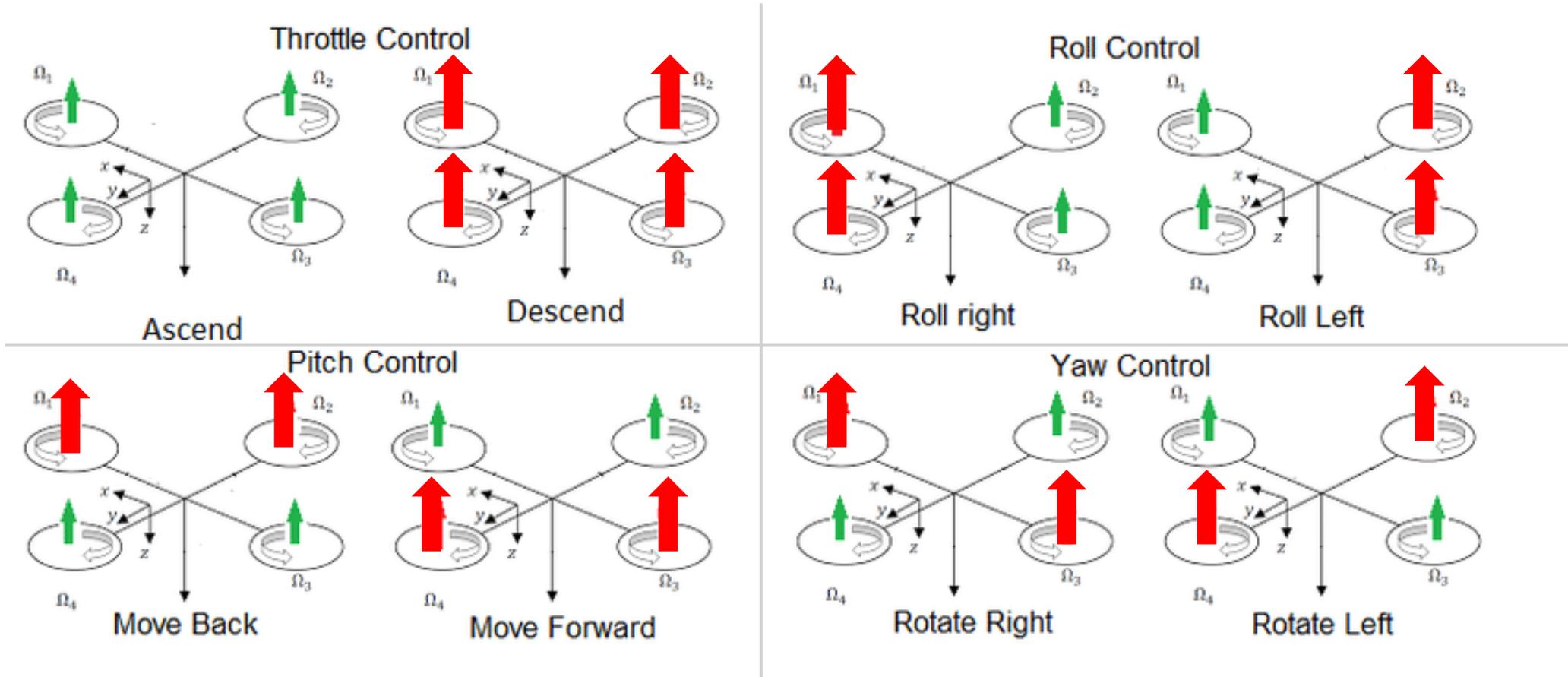
listener battery_status 입력

```
nsh> listener battery_status

TOPIC: battery_status
battery_status
timestamp: 3638004966 (0.268296 seconds ago)
voltage_v: 0.00000
voltage_filtered_v: 0.00000
current_a: 0.00000
current_filtered_a: 0.00000
current_average_a: 14.41243
discharged_mah: 0.00000
remaining: 0.00000
scale: 1.15714
time_remaining_s: nan
temperature: nan
voltage_cell_v: [0.00000, 0.00000, 0.00000, 0.00000, 0.00000, 0.00000, 0.00000, 0.00000]
max_cell_voltage_delta: 0.00000
custom_faults: 0
average_power: 0.00000
available_energy: 0.00000
full_charge_capacity_wh: 0.00000
remaining_capacity_wh: 0.00000
design_capacity: 0.00000
nominal_voltage: 0.00000
capacity: 0
cycle_count: 0
average_time_to_empty: 0
serial_number: 0
manufacture_date: 0
state_of_health: 0
max_error: 0
interface_error: 0
```

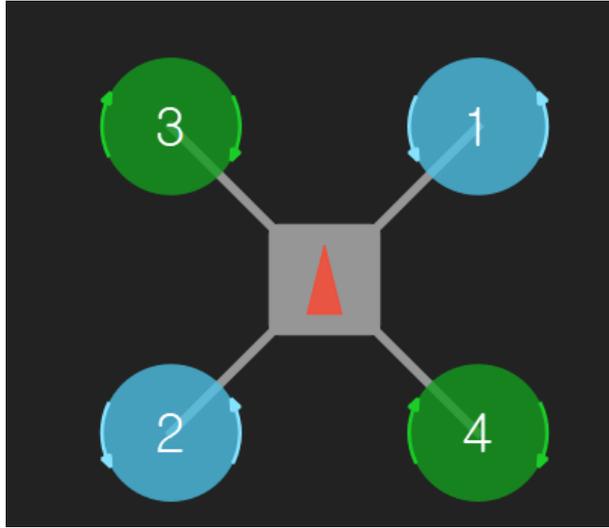
현재 배터리 상태

쿼드로터 동작 원리의 이해



프로펠러 장착 (프로펠러는 비행 직전에 장착 !!! 안전 문제)

시계/반시계 모양이 다르다!!



1, 2 번 모터



3, 4 번 모터



반시계 방향 회전

시계 방향 회전

각 방향으로 회전했을 때, 공기에 의한 힘이 어느 방향으로 작용하는지를 생각해서 프로펠러 구분!!!

방향을 잘못 장착하면, 기체가 이륙도 못하고 바로 한쪽으로 기울어 바닥과 충돌

케이블 타이 고정 및 최종 확인

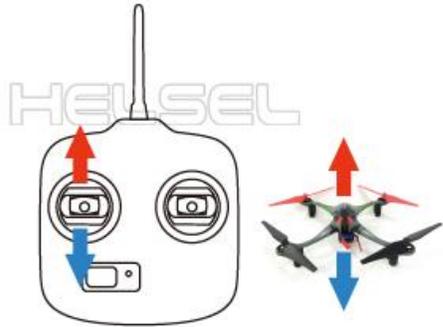
- 혹시 흔들리거나 떨어질 것 같은 부분은 없는지 확인
- 프로펠러 회전 시 간섭되는 부품이나 전선은 없는지
- 각 모터가 시계/반시계 방향으로 잘 회전하는지
- 프로펠러는 방향에 맞게 잘 장착되었는지
- ESC 등 전원의 극 +/- 가 잘 연결되었는지

완성된 모습



모드2

임무 : 이륙 후 잠시 호버링 (제자리 비행) 후 착륙



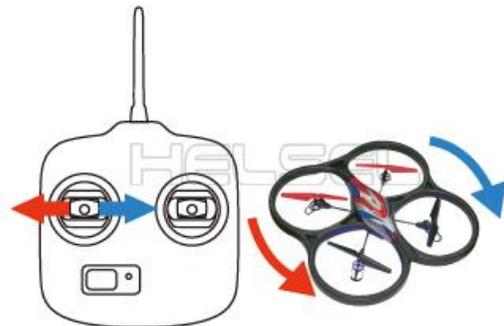
스로틀 키 조작

기체의 상승과 하강을 조정합니다.



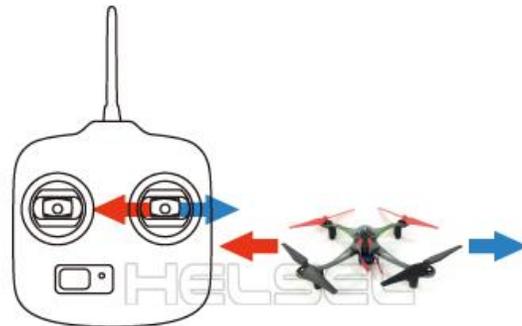
엘리베이터 키 조작

기체의 전진, 후진을 조정 합니다.



러더 키 조작

기체를 좌 우로 회전 시킵니다.



에일러론 키 조작

기체의 좌우 수평 이동을 조정 합니다.

주의 :

- 기체와 조종자가 같은 방향을 바라보게 유지한다
- 기체가 흔들리더라도 절대 당황하지 말고 **침착함을 유지**한다
- 당황해서 조종기 스틱을 확 움직여 버리면 기체가 이상한 곳으로 갑자기 움직일 수 있으므로 부드럽게 움직이도록 노력한다

비행 시험!

1. QGroundControl을 연결해 기체의 비행 로그를 다운 받는다.
2. **FlightReview** 또는 **PlotJuggler** 를 사용해 비행 로그를 분석할 수 있다.
 - FlightReview는 웹사이트에 비행 로그 파일을 올리면 기본적인 분석을 그래프로 보여준다. 아주 간편하지만 볼 수 있는 메시지가 한정적이다.
<https://review.px4.io/>
 - PlotJuggler는 보다 많은 데이터를 직접 처리하고 flightreview에서 보여주지 않는 자세한 데이터들도 확인할 수 있게 해준다.
<https://plotjuggler.io/>

이번 세미나에서는 간단히 FlightReview를 사용해 분석 진행

Flight Review

1) Flight Review 웹사이트에 접속

Upload a Log File

Select and upload a log file for plotting and analysis. You can browse through public log file

Description (optional):

Additional Feedback (optional):

E-Mail:

Will only be used to send you a link to the uploaded file (including a link to delete) and is not stored on the server.

Access to the log:

Make this log publicly available (on [this page](#)). The PX4 community can use it to improve the flight stack.

ULog File:

2) QGC에서 다운받은 Ulog 파일을 업로드

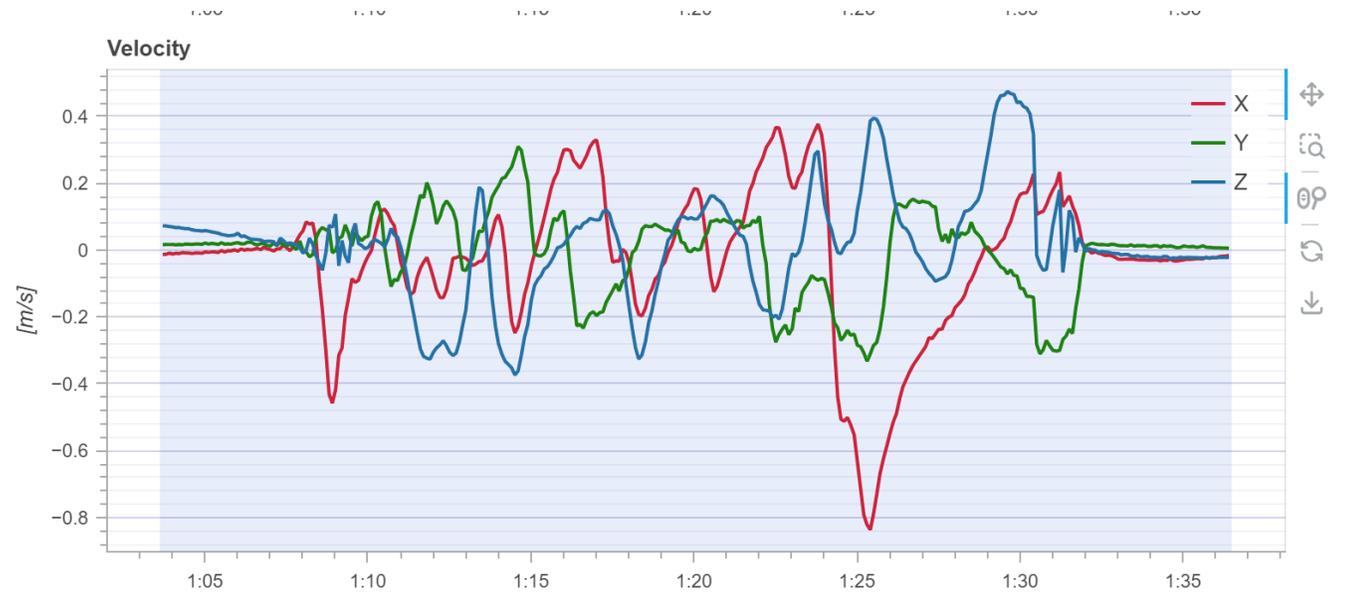
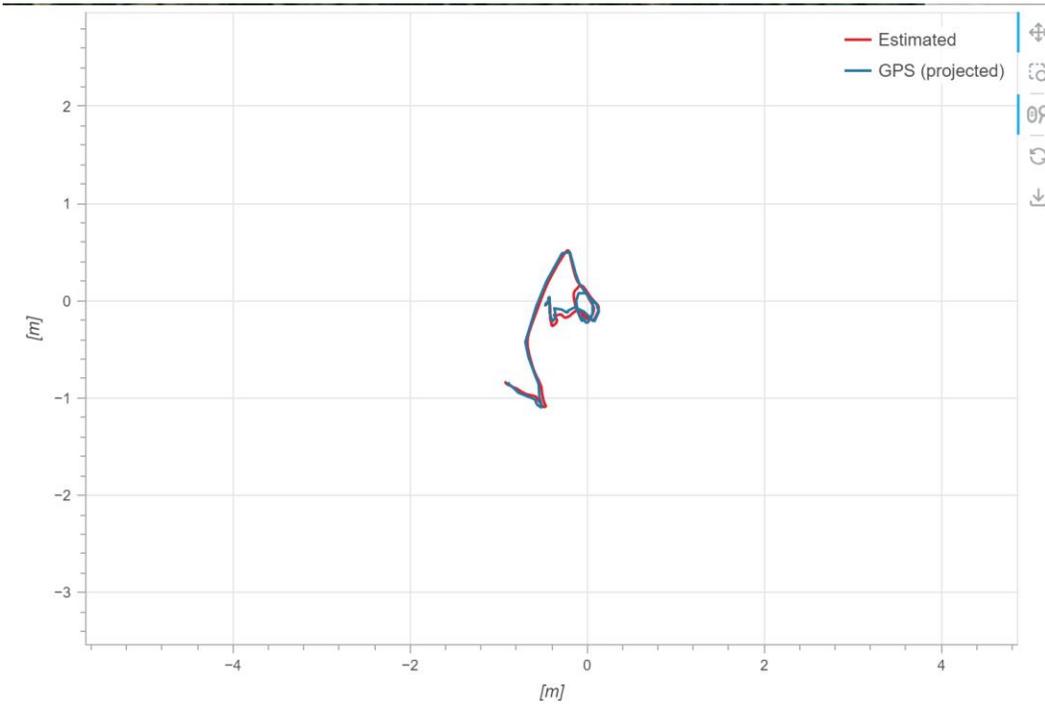
The screenshot shows the PX4 Flight Review interface. At the top, there is a navigation bar with the PX4 logo and the text "Flight Review". Below the navigation bar, the main content area displays flight data for a "PX4 Quadrotor". The data is organized into two columns. The left column lists hardware and software details, while the right column lists performance metrics. At the bottom of the page, there is a section for "Add a detected error..." and a small aerial photograph of a building complex.

PX4 Quadrotor		Open 3D View	Open PID Analysis
Airframe:	Generic Quadcopter Quadrotor x (4001)	Distance:	7.2 m
Hardware:	PX4_FMU_V6X (V6X000003)	Max Altitude Difference:	1 m
Software Version:	v1.14.0 (b8c541dd)	Average Speed:	0.8 km/h
OS Version:	NuttX, v11.0.0	Max Speed:	3.5 km/h
Estimator:	EKF2	Max Speed Horizontal:	3.2 km/h
Logging Start ?:	15-03-2024 15:40	Max Speed Up:	1.3 km/h
Logging Duration:	0:00:32	Max Speed Down:	1.7 km/h
Vehicle Life:	2 minutes 21 seconds	Max Tilt Angle:	15.4 deg
Flight Time:			
Vehicle UUID:	000600000003436333634325102002d0036		

Add a detected error...

Flight Review

3) GPS 위치, 각 축별 위치/속도/가속도 성분, 조종기 입력, 배터리 상태, 오류 메시지, 진동 상태 등 많은 값들이 그래프로 표시됨



쿼드로터 해체 및 원상복구

잃어버린 부품/ 나사가 없는지 확인 !!

- ESC와 기판을 납땀한 부분은, 인두기로 납을 살짝 녹여서 분리
- 망가지거나 잃어버린 부품이 있다면 바로 조교에게 보고
- 픽스호크를 부착한 양면테이프는 일단 떼지 않고 가만히 놔둔다

초반에 소개했던 교육 목적을 달성했나요 ?!

교육 목적

어디서도 체계적으로 배우기 힘든, 드론에 대한 넓고 얇은 지식을 종합적으로 전달하기 위한

1. 드론을 구성하는 **각 부품의 역할과 동작원리**를 이해한다.
2. 드론을 처음부터 끝까지 직접 조립해보며, 각 부품이 어떻게 연결되어 **하나의 시스템**을 구성하는지 이해한다.
3. 드론을 **실제 날리기 전에**, 어떤 **과정**이 필요한지 이해한다.
4. 실제 드론을 활용한 시스템을 개발하는데 있어 **유용한 팁**들에 대해 배운다.
5. 비행 시험을 통해 얻은 **비행 로그**를 분석하는 방법에 대해 배운다.

그리고 무엇보다 ...



Hands-on Experience의 중요성!!

감사합니다

