



드론 개발

임베디드스쿨1기

lv1과정

2020. 11. 02 ~ 2021.01.xx

김인겸

목차

1. 하드웨어 준비

- 1) 개발 계획
- 2) BOM 리스트
- 3) 부품 스펙
- 4) 블록도
- 5) 부품 조립 및 시험 비행
- 6) 시행착오 리뷰 및 느낀점

2. 소프트웨어 프로그래밍

- 1) MPU 6050 자이로 가속도 센서
- 2) 아두이노 나노 프로그래밍
- 3) 드론 비행 및 성능 테스트

1. 하드웨어 준비 - 1) 개발 계획

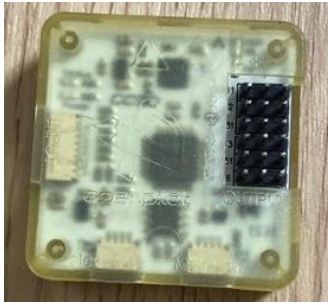
1.

1. 하드웨어 준비 - 2) BOM 리스트

번호	품명	수량	가격(원)	조달경로	구매사이트
1	CC3D FC	1	114,239	해외	알리 익스프레스
2	F330 프레임 키트	1	"	"	"
3	8038 프로펠러	4	"	"	"
4	XXD A2212 KV930 BLDC 모터	4	"	"	"
5	Simon 20A ESC	4	"	"	"
6	FLYSKY 조종기	1	"	"	"
7	FS-IA6B 수신기	1	"	"	"
8	배터리 체커	1	3,997	해외	알리 익스프레스
9	리포 배터리 충전기	1	6,340	해외	알리 익스프레스
10	2800mAh 3S 60C 리튬폴리머 배터리	1	32,000	국내	팰콘샵
11	아두이노 나노 호환보드	1	4,070	국내	협신 전자
12	MPU 6050	1	1,630	국내	협신 전자
			162,276		

1. 하드웨어 준비 - 2) BOM 리스트

1) CC3D FC



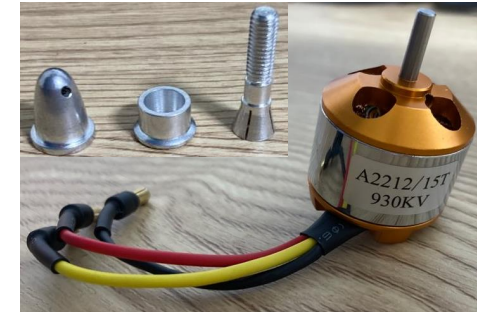
2) F330 프레임 키트



3) 8038 프로펠러



4) 930KV BLDC 모터 * 4



5) Simon 20A ESC * 4



6) FLYSKY 조종기



7) FS-IA6B 수신기



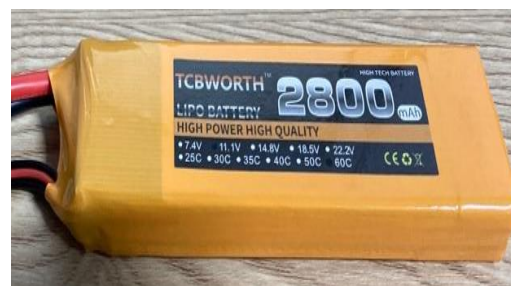
8) 배터리 체커



9) 리포 배터리 충전기



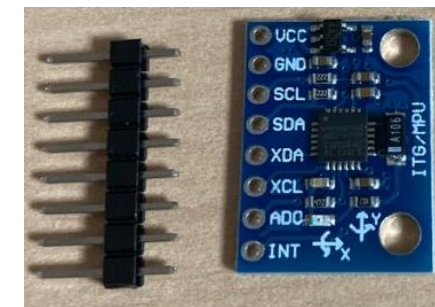
10) 리튬폴리머 배터리



11) 아두이노 나노

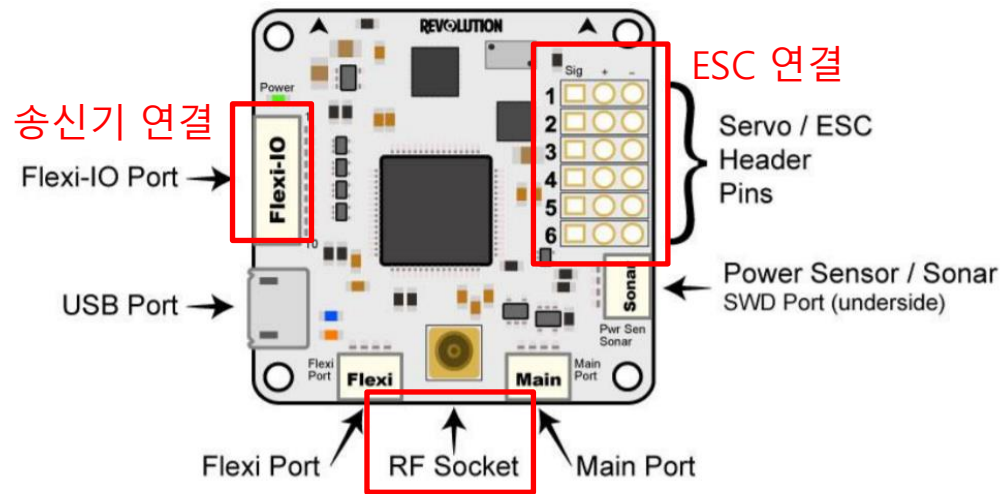
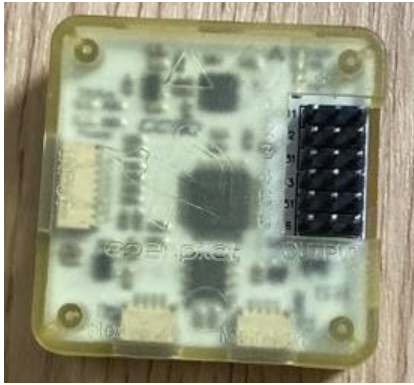


12) MPU6050



1. 하드웨어 준비 - 3) 부품 스펙

1) CC3D FC : 드론의 모터, 송수신기, 센서를 제어할 마이크로 컨트롤러.



- STM32 (32bit)
- 90MIPs
- 128KB Flash , 20KB RAM
- 3-axis MEMs accelerometer
- 3-axis MEMs gyros
- Librepilot 프로그램 지원

USB mini B type

2) F330 프레임 키트 : 250급, 330급, 450급 등의 종류가 있으며 무게를 고려해야 함



- 330급
- 145g

1. 하드웨어 준비 - 3) 부품 스펙

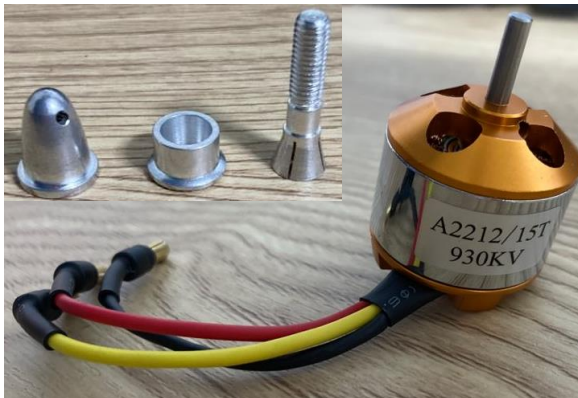
3) 8038 프로펠러



- 8038 이엽 프로펠러
- 권장 모터: 650KV ~ 1150V.
- 무게: 17.6g

- 피치 : 프로펠러가 한 번 회전했을 때 이동하는 거리.
- CW(Clock Wise) : 시계 방향
CCW(Counter Clock Wise) : 반시계 방향

4) XXD A2212 KV930 BLDC 모터 (4EA)



- KV930
- 무부하 전압 및 전류 : 10V, 0.5A
- Current Capacity(전류용량) : 12 A/60s
- 무게 : 64g

- KV(RPM/V) : 1V당 1분에 몇 번 회전하는지.
- prop shaft : 프로펠러와 연결하는 모터 축의 지름. 프로펠러 지름 > 모터 축의 지름
- bolt hole spacing(볼트 구멍) : 모터와 바디를 연결하는 볼트의 규격

1. 하드웨어 준비 - 3) 부품 스펙

5) Simon 20A ESC (4EA) : BLDC모터에 입력될 속도 제어 명령을 3가지 신호로 바꿔주는 역할



- 유지 전류 : 20A
- 피크 전류 : 30A(10s)
- 전압 : 2~3S lipo
- BEC : 5V/3A
- 무게 : 26g
- ESC의 전류 값 > 모터의 Max Amp
- SimonK 펌웨어 내장

- BEC : 모터용 배터리에서 수신기와 서보에 전류를 함께 공급해 줄 수 있도록 만들어진 회로이자 전압을 다운시켜주는 Step Down Regulator
 - 리니어 방식 : 다운된 전압 만큼을 열에너지로 소비하는 방식
 - 스위치 방식 : On, Off 속도 조절로 전압을 다운 시키는 방식(잡음 발생 문제점)

1. 하드웨어 준비 - 3) 부품 스펙

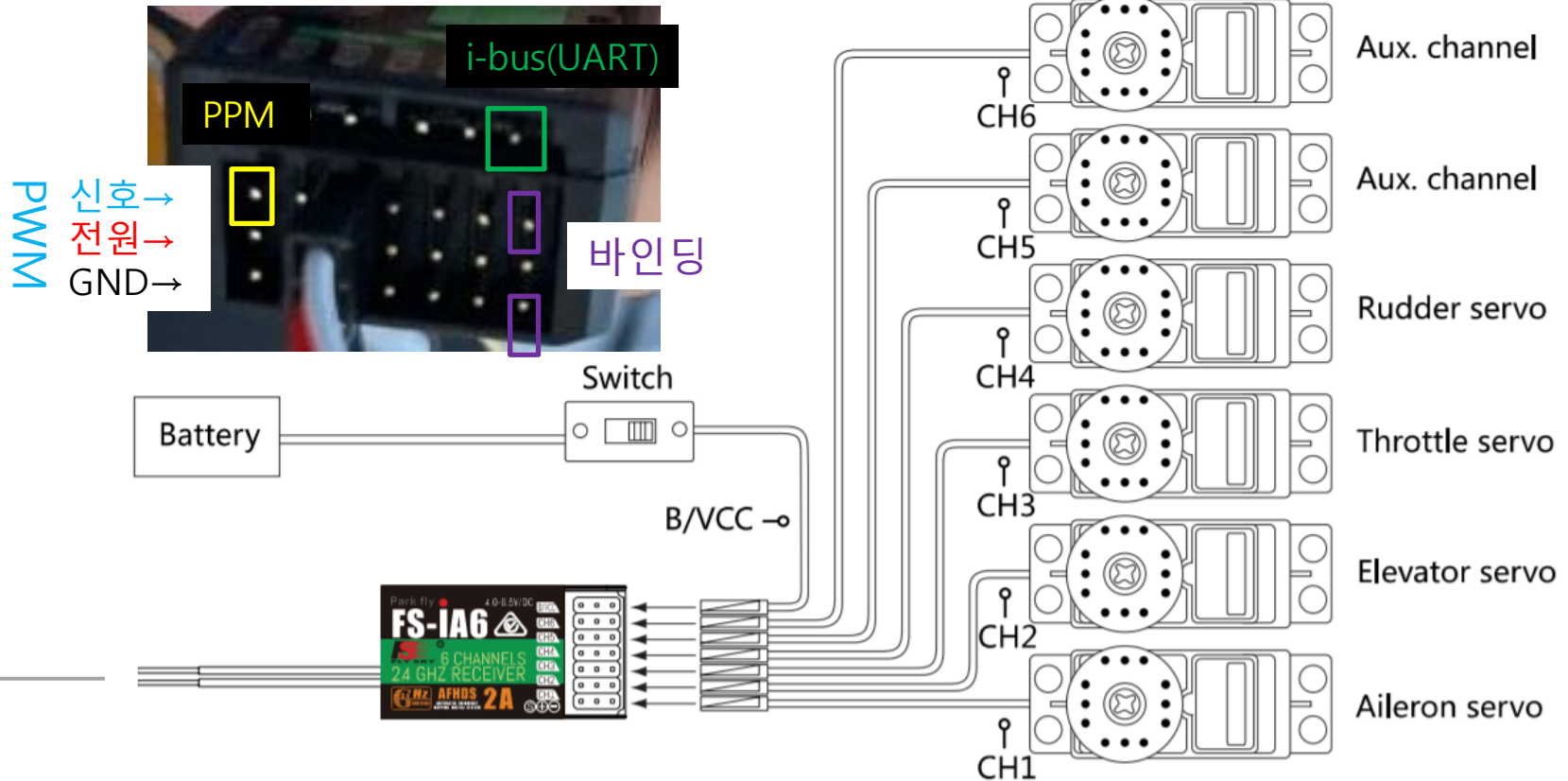
6) FLYSKY 조종기



7) FS-IA6B 수신기



- 6채널
- RF범위 : 2.4 ~ 2.8Hz
- 대역폭 : 500kHz
- 전원 : 4.0 ~ 6.5V



1. 하드웨어 준비 - 3) 부품 스펙

8) 배터리 체커 9) 리포 배터리 충전기



- iMaxRC iMax B3 프로 컴팩트 2S 3S Lipo 균형 배터리 충전기
- 입력 전압: AC 100V-240V

균형 책임 현재: 850mA
최대 충전기 현재: 3 * 800mA

10) 리튬폴리머 배터리



- 전압 : 3s(11.1V) (3.7V / 1S)
- 용량 : 2800mAh
- 방전율 : 60C
- XT60플러그
- mAh * C = 최대 배터리전류
(순간적으로 공급할 수 있는 전류량)

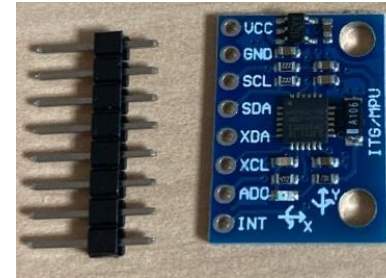
- mAh : 배터리의 공급 가능 용량을 표기하는 능력으로 배터리가 일정하게 공급해 줄 수 있는 전류(암페어)의 양
Ex) 1500mAh : 1.5A 전류를 1시간 동안.
1A 전류를 1시간30분 동안.
- 모터 한 개의 Max Amp * 4) < 최대 배터리 전류

1. 하드웨어 준비 - 3) 부품 스펙

11) 아두이노 나노



12) MPU6050



• 드론 비행시간 계산 공식

$$\text{Time} = \text{capacity} * \text{discharge} / \text{AAD}$$

- Capacity(Ah) : 배터리 용량
- Discharge : 내가 사용하고자하는 배터리 사용량(Lipo배터리는 보통 80%만 사용)
- AAD(Average Amp Draw): 모터의 소비 전류 값

$$\text{AAD} = \text{AUW} * P / V$$

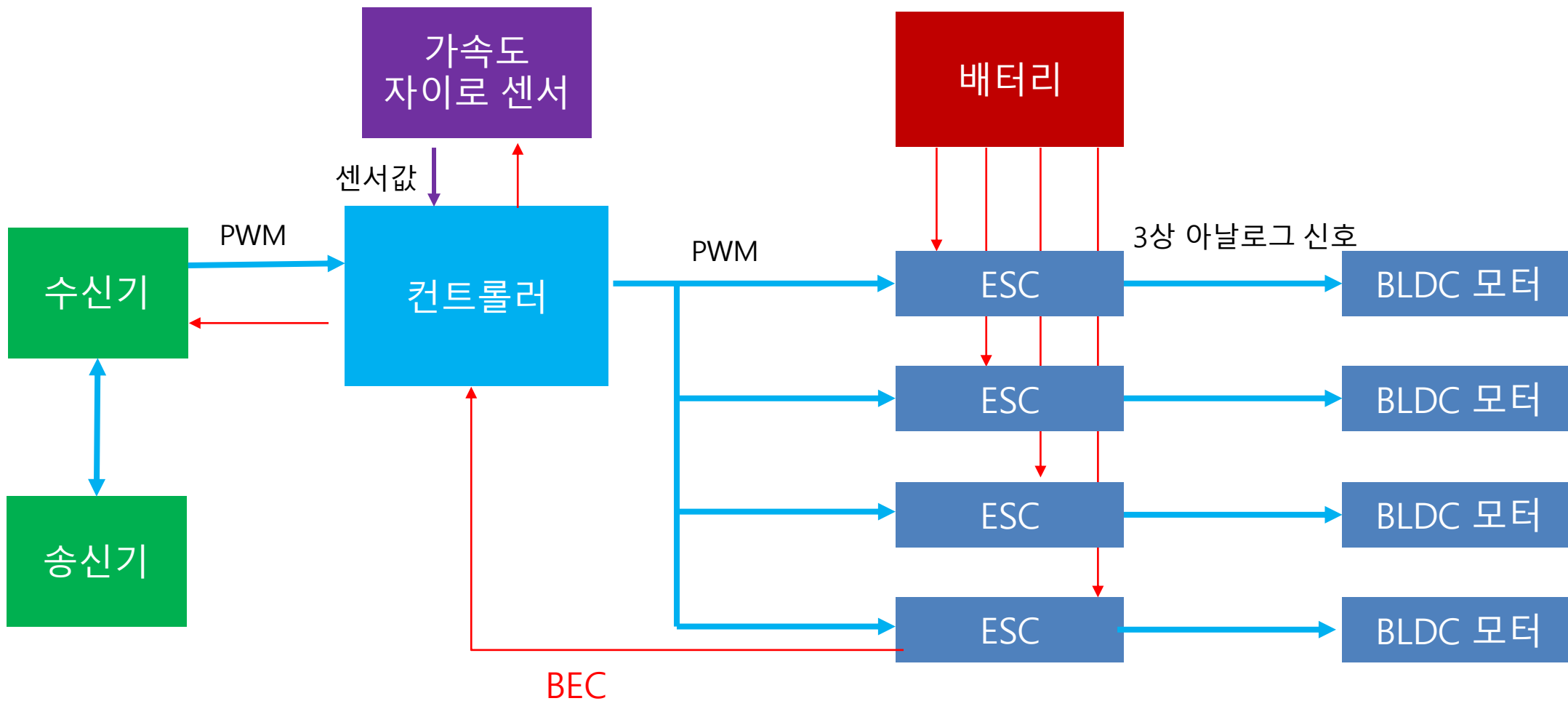
- AUW(All Up Weight : 드론의 총무게 [kg]
- P(Power) : 1kg을 들기 위해 필요한 전력 [W/kg] (보통 170W/kg 사용)
- V(Volt) : 배터리 전압

$$\text{Time} = \frac{2.8 \times 0.8}{\left(\frac{0.9 \times 170}{11.1} \right)} = 0.1625 \text{ (9.75분)}$$

* 드론 비행시간 계산 사이트

<https://www.omnicalculator.com/other/drone-flight-time#drone-flight-time-formula>

1. 하드웨어 준비 - 4) 블록도



1. 하드웨어 준비 – 5) 부품 조립 및 시험 비행

①. 프레임 조립



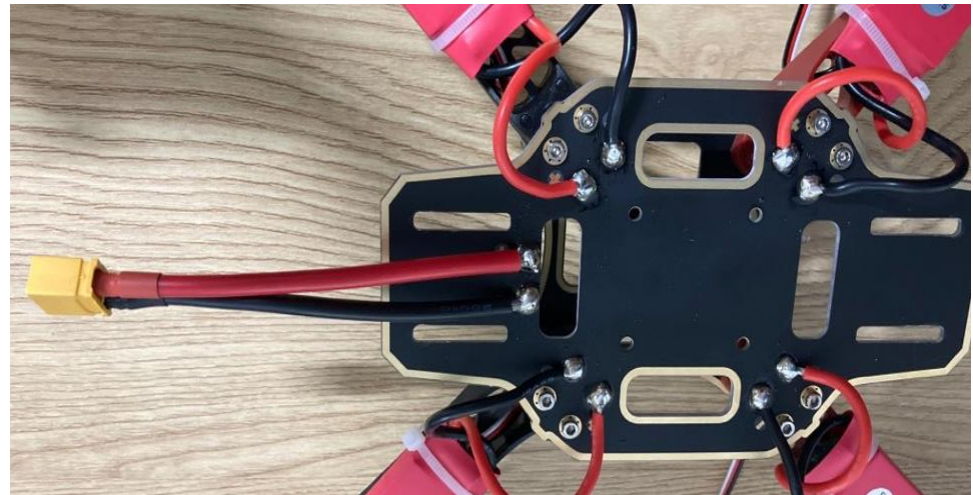
②. 모터 장착



③. ESC 장착

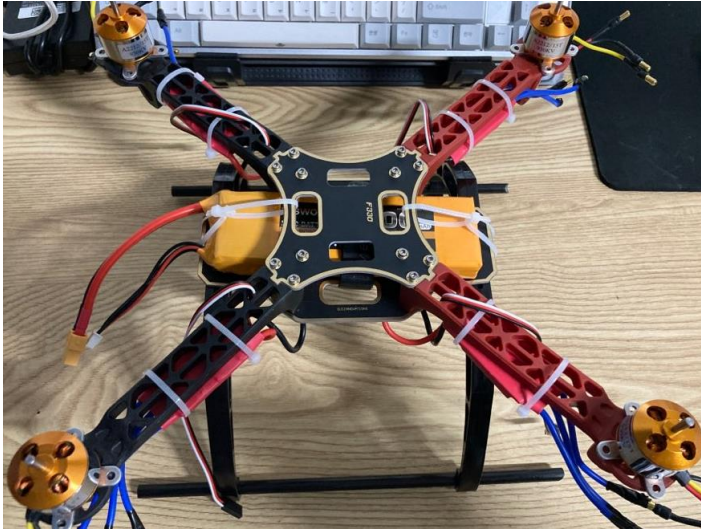


④. 배터리 커넥터, ESC를 PDB에 납땜



1. 하드웨어 준비 – 5) 부품 조립 및 시험 비행

⑤. 배터리, 지지대 장착



⑥. 송수신기 바인딩 및 ESC throttle range calibration

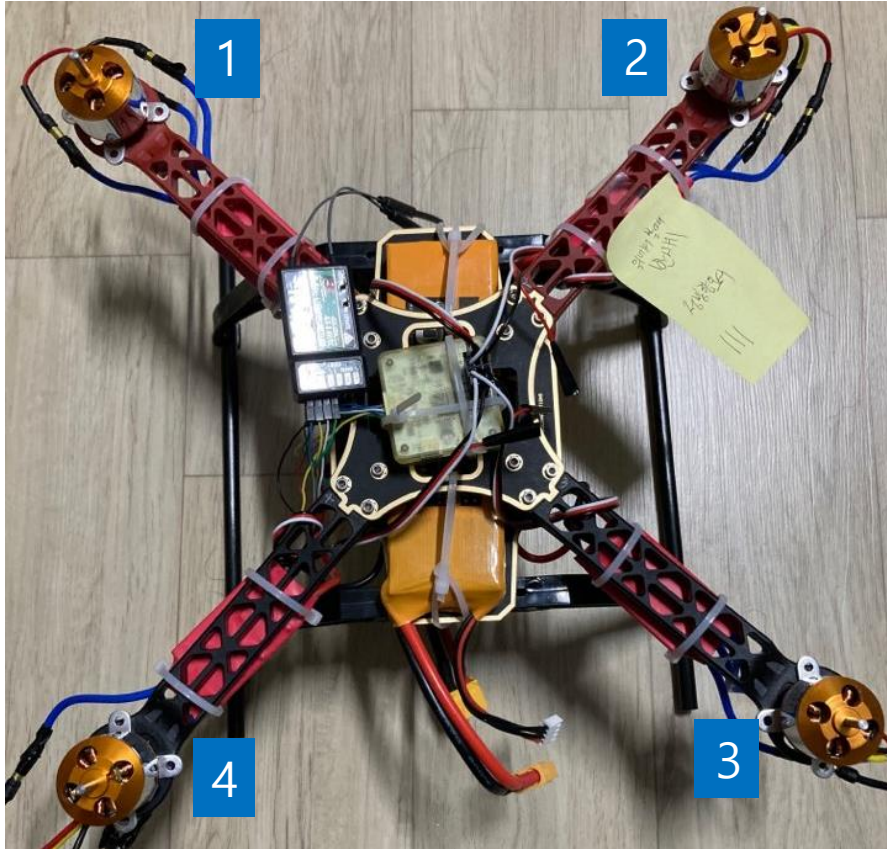


⑦. 모터-ESC 연결, 모터 회전 방향 설정

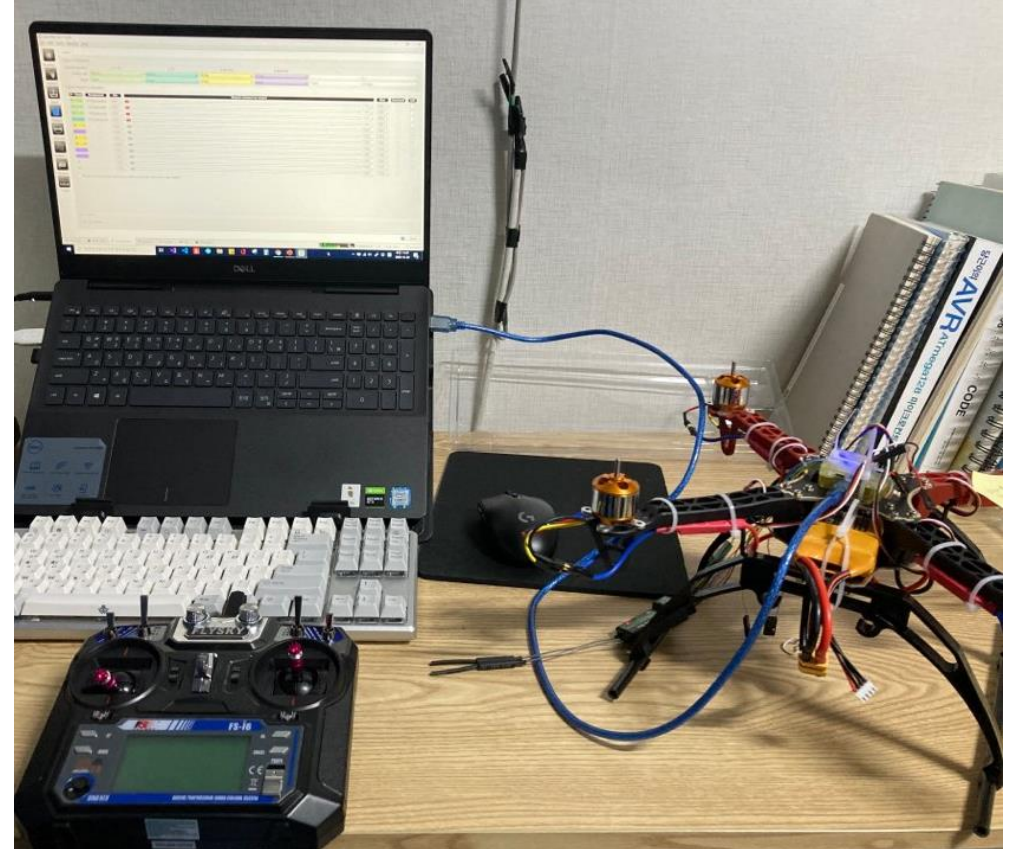


1. 하드웨어 준비 – 5) 부품 조립 및 시험 비행

⑧. CC3D FC, 수신기 연결



⑨. Librepilot을 이용한 CC3D FC 설정



1. 하드웨어 준비 – 5) 부품 조립 및 시험 비행

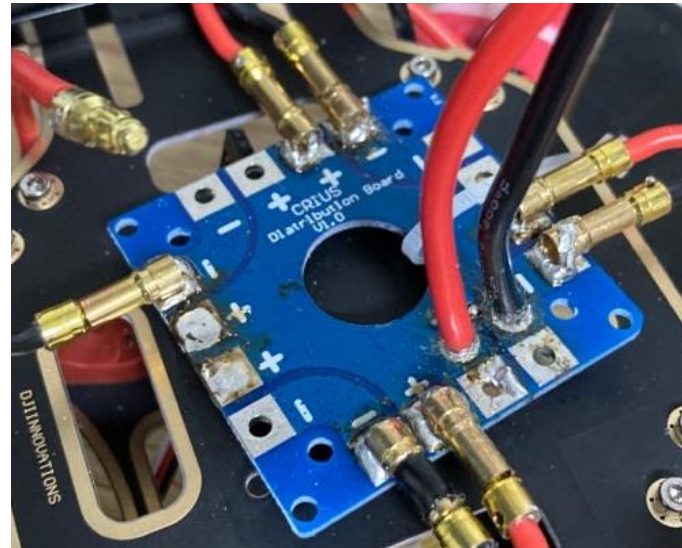
⑩. 프로펠러 장착



⑪. 시험 비행

1. 하드웨어 준비 – 6) 시행착오 리뷰 및 느낀점

1. PDB 및 배터리 커넥터 납땜에 어려움을 겪음

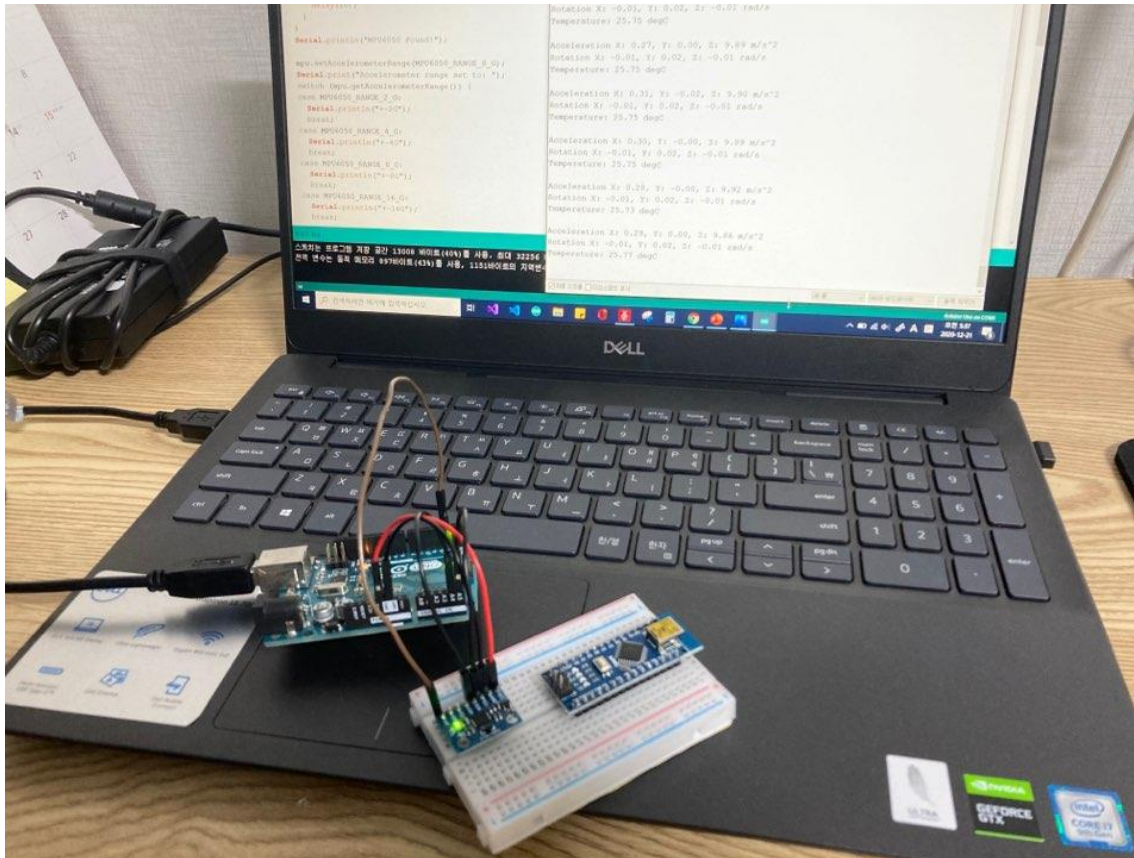


2. Librepiot 설치가 안돼서 힘들었음

[해결 방법](#)

3. CC3D 세팅하는데 어려움을 겪음.

MPU6050 테스트(아두이노 스케치)



Acceleration X: 0.29, Y: -0.00, Z: 9.92 m/s²
Rotation X: -0.01, Y: 0.02, Z: -0.01 rad/s
Temperature: 25.77 degC

Acceleration X: 0.28, Y: -0.03, Z: 9.87 m/s²
Rotation X: -0.01, Y: 0.02, Z: -0.01 rad/s
Temperature: 25.76 degC

Acceleration X: 0.30, Y: -0.02, Z: 9.91 m/s²
Rotation X: -0.01, Y: 0.02, Z: -0.01 rad/s
Temperature: 25.79 degC

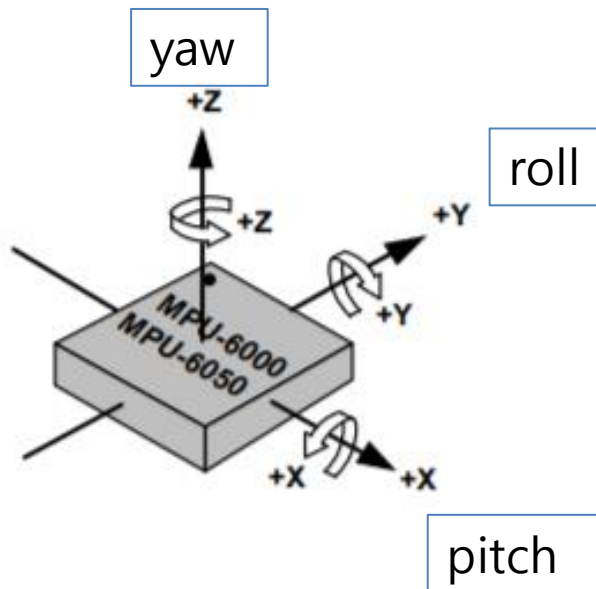
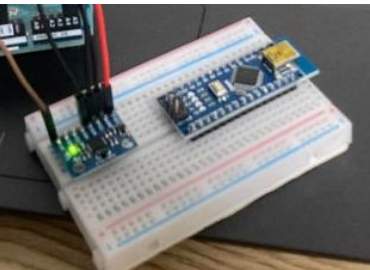
Acceleration X: 2.95, Y: -1.83, Z: 10.29 m/s²
Rotation X: -0.03, Y: -0.02, Z: 0.69 rad/s
Temperature: 25.77 degC

Acceleration X: -0.20, Y: -0.02, Z: 10.01 m/s²
Rotation X: 0.06, Y: -0.26, Z: 0.66 rad/s
Temperature: 25.78 degC

GY521-MPU6050

- 특징
 - 가속도, 각속도, 온도 측정
 - 16비트 ADC
 - 400kHz 고속 모드 I2C
 - 가속도 범위 : 초당 ± 250 , ± 500 , ± 1000 또는 ± 2000 도 (dps)
 - 각속도 : $\pm 2g$, $\pm 4g$, $\pm 8g$ $\pm 16g$
 - ADC 샘플 속도 : 초당 8,000 ~ 3.9개의 샘플
 - DMP기능

- 용도
 - 모션 지원 게임 어플리케이션
 - 3D 원격 제어
 - 웨어러블 센서
 - 만보계
 - 제스처 인식

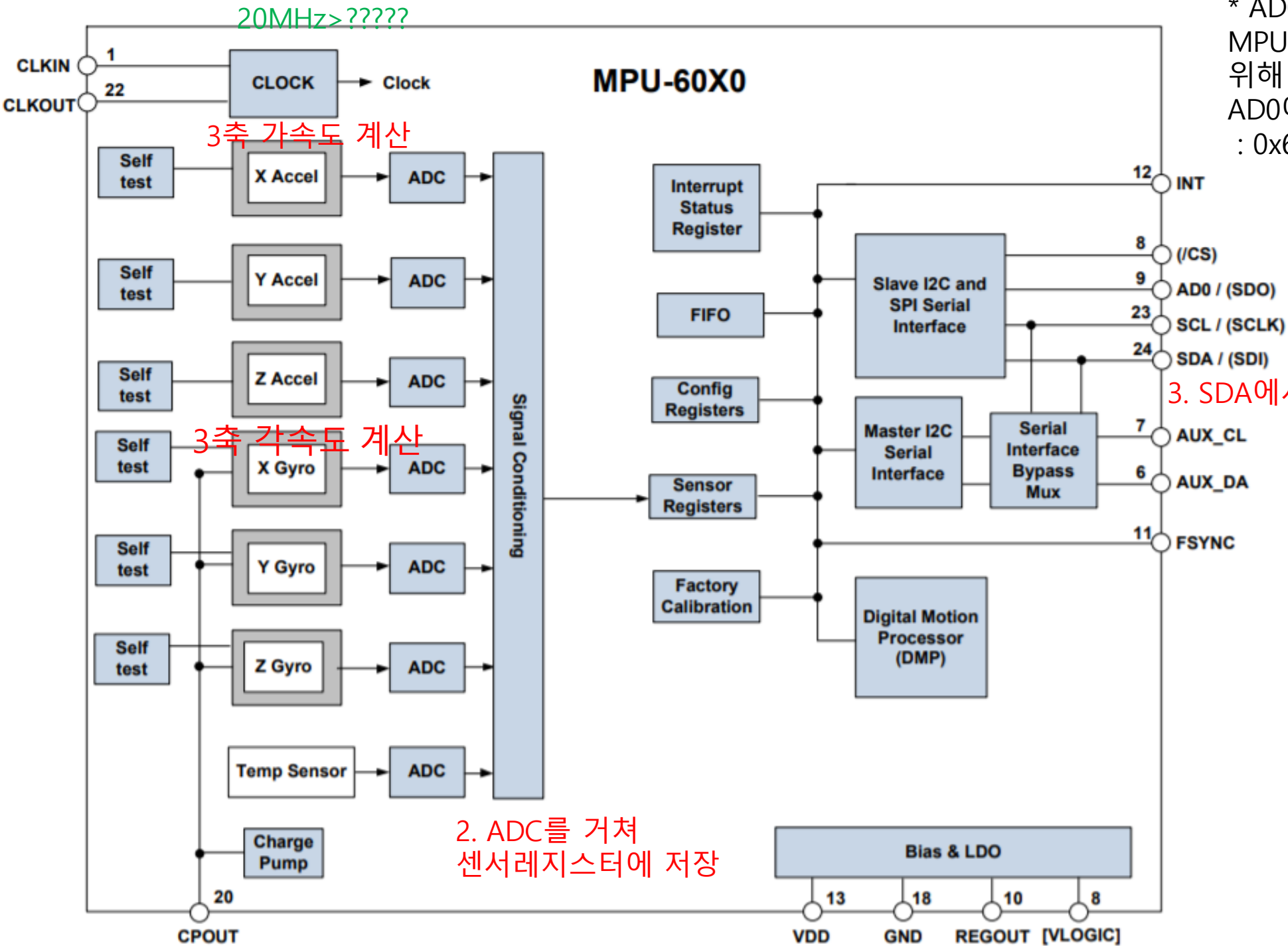


* DMP(Digital Motion Processor) : 가속도, 각속도 연산 프로그램으로서 pitch, roll, yaw값, 쿼터니언, 오일러 값 계산 가능

[MPU-6000-Datasheet1.pdf](#)

[MPU-6050-Register-Map.pdf](#)

GY521-MPU6050



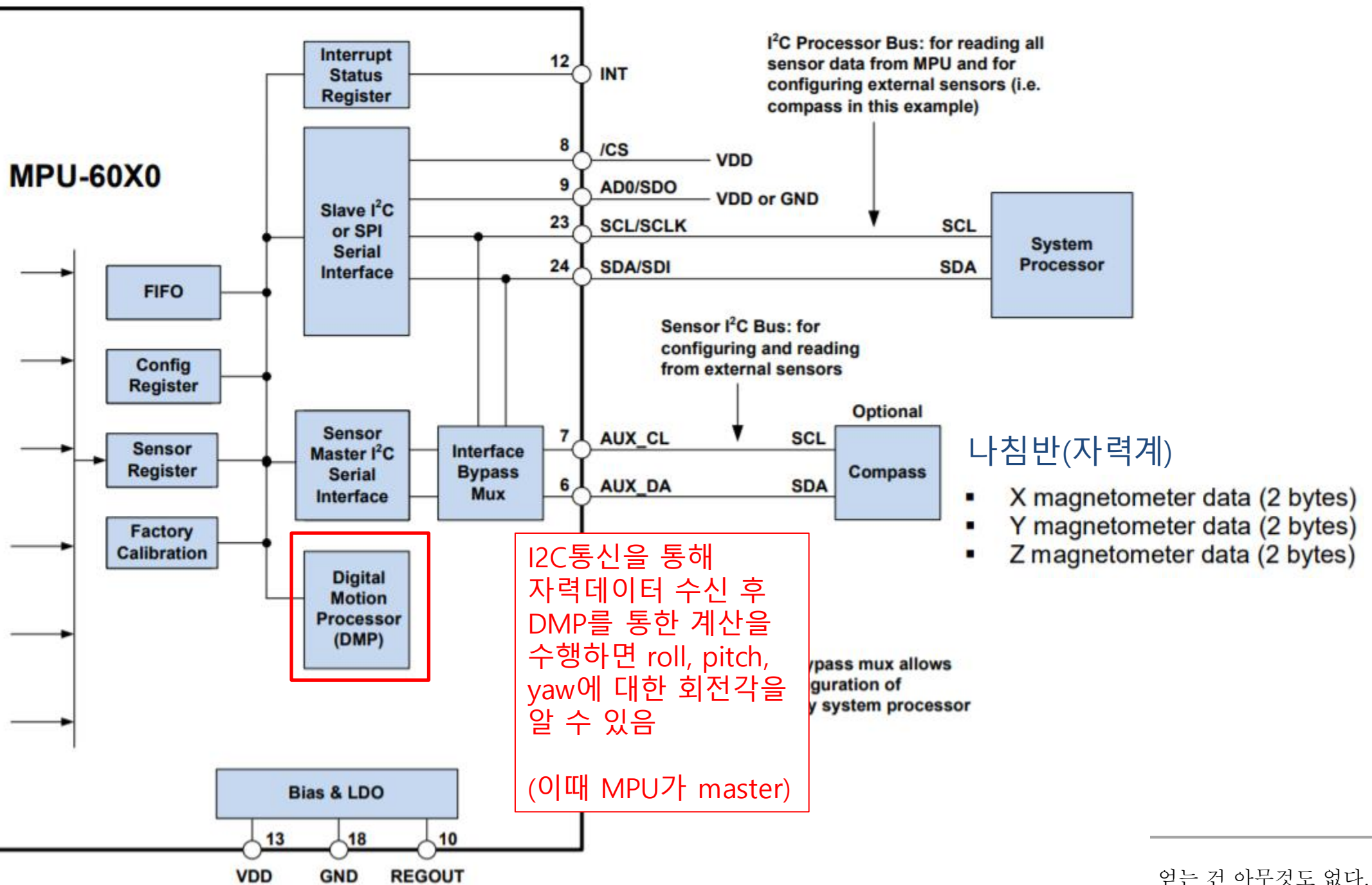
* AD0 : 여러 개의 MPU를 연결하기 위해 주소를 바꿔줌.
AD0에 5V 인가 : 0x68 -> 0x69

3. SDA에서 데이터 출력

2. ADC를 거쳐 센서레지스터에 저장

! 아무것도 없다.

GY521-MPU6050



GY521-MPU6050

PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS	NOTES
ACCELEROMETER SENSITIVITY Full-Scale Range	AFS_SEL=0		±2		g	
	AFS_SEL=1		±4		g	
	AFS_SEL=2		±8		g	
	AFS_SEL=3		±16		g	
	ADC Word Length		16		bits	
	Sensitivity Scale Factor		16,384		LSB/g	
			8,192		LSB/g	
			4,096		LSB/g	
			2,048		LSB/g	

PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS	NOTES
GYROSCOPE SENSITIVITY Full-Scale Range	FS_SEL=0		±250		°/s	
	FS_SEL=1		±500		°/s	
	FS_SEL=2		±1000		°/s	
	FS_SEL=3		±2000		°/s	
	Gyroscope ADC Word Length		16		bits	
	Sensitivity Scale Factor		131		LSB/(°/s)	
			65.5		LSB/(°/s)	
			32.8		LSB/(°/s)	
			16.4		LSB/(°/s)	

- SEL ↓ -> 민감 ↑ -> 측정범위 ↓
- SEL ↑ -> 민감 ↓ -> 측정범위 ↑

* 16.4LSB/dps : 0.06097dps/LSB
1비트 마다 0.06097dps 측정가능

드론은 이 설정을 어느정도로 해야될까??

GY521-MPU6050

<데이터 쓰기>

Single-Byte Write Sequence

Master	S	AD+W		RA		DATA		P
Slave			ACK		ACK		ACK	

Register Address

Burst Write Sequence

Master	S	AD+W		RA		DATA		DATA		P
Slave			ACK		ACK		ACK		ACK	

<데이터 읽기>

Single-Byte Read Sequence

Master	S	AD+W		RA		S	AD+R			NACK	P
Slave			ACK		ACK			ACK	DATA		

Burst Read Sequence

Master	S	AD+W		RA		S	AD+R			ACK		NACK	P
Slave			ACK		ACK			ACK	DATA		DATA		

I²C ADDRESS

AD0 = 0

AD0 = 1

1101000

1101001

GY521-MPU6050

3B	59	ACCEL_XOUT_H	R	ACCEL_XOUT_H[15:8]
3C	60	ACCEL_XOUT_L	R	ACCEL_XOUT_L[7:0]
3D	61	ACCEL_YOUT_H	R	ACCEL_YOUT_H[15:8]
3E	62	ACCEL_YOUT_L	R	ACCEL_YOUT_L[7:0]
3F	63	ACCEL_ZOUT_H	R	ACCEL_ZOUT_H[15:8]
40	64	ACCEL_ZOUT_L	R	ACCEL_ZOUT_L[7:0]
41	65	TEMP_OUT_H	R	TEMP_OUT_H[15:8]
42	66	TEMP_OUT_L	R	TEMP_OUT_L[7:0]
43	67	GYRO_XOUT_H	R	GYRO_XOUT_H[15:8]
44	68	GYRO_XOUT_L	R	GYRO_XOUT_L[7:0]
45	69	GYRO_YOUT_H	R	GYRO_YOUT_H[15:8]
46	70	GYRO_YOUT_L	R	GYRO_YOUT_L[7:0]
47	71	GYRO_ZOUT_H	R	GYRO_ZOUT_H[15:8]
48	72	GYRO_ZOUT_L	R	GYRO_ZOUT_L[7:0]

가속도 값 = 16비트 ADC값 / 민감도

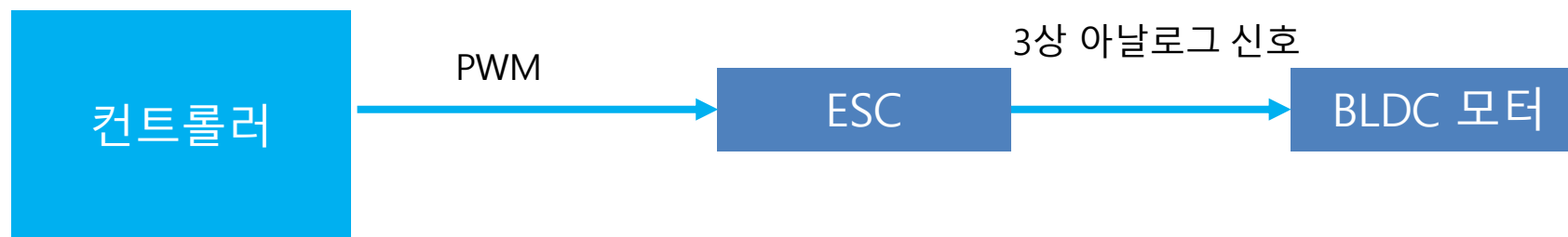
ex) 가속도 센서 민감도가 $\pm 16g$ 로 설정하면, 분해능은 16비트이므로 $2^{16} / 32 = 2048$ (LSB/g)
 $1/2048 = 0.000488(g/LSB)$: 1비트 마다 0.000488g을 의미함.
16비트 ADC값이 10,000이 나왔다고 가정하면 $10,000/2048 = 4.88g$ 을 의미함.

회전 각	수 식
Y축 기준 회전 각도	$AccAngle(Y) = atan\left(\frac{-ACCEL(X)OUT}{\sqrt{ACCEL(Y)OUT^2 + ACCEL(Z)OUT^2}}\right) \times \left(\frac{180}{\pi}\right)$
X축 기준 회전 각도	$AccAngle(X) = atan\left(\frac{ACCEL(Y)OUT}{\sqrt{ACCEL(X)OUT^2 + ACCEL(Z)OUT^2}}\right) \times \left(\frac{180}{\pi}\right)$

$$angle(X) = \tan^{-1}\left(\frac{AcY}{\sqrt{Ac^2X + Ac^2Z}}\right) \times \left(\frac{180}{\pi}\right)$$

위의 식은 **accel_angle_x**로 Pitch 각이다. **accel_angle_z** 변수의 값은 0으로 설정한다. 이는 최초 드론을 평평한 면에 둘 경우 +Z축이 중력 가속도와 정반대의 방향을 보게 되며 따라서 가속도 센서를 이용해서는 회전각을 구할 수 없다.

모터 제어



ESC에 사용되는 펌웨어 : **Simon**, BLHeli, BLHeli_S 등

자, 그렇다면 ESC에 신호를 어떻게 넣어야 하나?

일단 결론만 말하자면

RC용 ESC는 모터에 인가하는 Update Rate은 각기 다른 사양을 가지고 있지만

수신기에서 받는 PWM신호는 통상적으로 50Hz 주파수, 즉 **20ms 주기**로 생성시키는게 RC계의 표준이라 한다. (어떠한 메뉴얼에도 나와있지 않아서 이거 찾는데 꽤 골치였다 $\pi\pi$)

그리고 수신기의 입력은 **최소 0값이 high 1ms**이고 **최대 max값이 high 2ms** 이다.

즉 아래의 그림과 같다.

ESC update rate(PWM 입력신호 주기)은 50Hz가 아니라 400Hz 정도여야 한다.

ESC update rate은 제품마다 다르므로 ESC 메뉴얼을 확인하여 몇 Hz까지 지원되는지 확인해야 한다.

참고 : **[쿼드콥터] ESC update rate 에 관하여**

ESC의 update rate이 높으면 모터의 반응속도 또한 높일 수 있다.

비행기, 헬기에서는 50Hz로도 충분히 안정적인 상태를 만들지만

쿼드콥터는 매우 불안정한 기체이므로 50Hz로는 역부족이며 400Hz 이상이 좋다.

PWM 14mode, 1 scaler, Top 40000 으로 설정하여 PWM셋팅이 가능하다.

min, max는 50Hz일 때와 동일하게 1~2ms 이며 OCR값은 16000~32000 이다.

포기하면 얻는 건 아무것도 없다.

실제 ESC로 연결되는 CC3D output pin의 PWM주기를 오실로스코프로 확인해본 결과, 약 2ms 주기로 1ms~2ms 로 움직이더라..

Control Signal:

20A BLDC ESC requires standard 50-60Hz PWM signal from any remote control as throttle input. You can also generate similar input signal from the microcontroller for making your own customized flying platform. Throttle speed is proportional to the width of the pulse. Maximum throttle position is user programmable. In general throttle is set at zero for 1mS pulse width and full at the 2mS pulse width.

실제로 조종기에서 스틱을 중립에서 위 또는 아래로 움직일때 어느정도 올려야만 그때서야 동작을 하게 만들어야 합니다. 왜냐하면, 중립모드(대략, PPM신호의 ON주기는 1.5ms)인데 조종기 내부의 전기적 상태에 따라서 1.5ms를 중심으로 상하로 요동을 치거든요. 오실로스코프로 보면 그런 것이 보입니다. 스틱을 움직이지도 않았지만, 조종기의 배터리가 약해질 수도 있고 기타 다른 이유로 1500us를 중심으로 어떤때는 1480us가 될수도 있고 어떤때는 1530us가 될수도 있습니다. 따라서 AVR소스코드를 작성하실때 1500us +/- 50us 정도에서는 중립이라고 판단해야만 RC자동차가 제멋대로 나가는 것을 방지할 수 있습니다. 그렇다면 스틱을 UP/DOWN시의 기준값은 얼마로 해야할까요? 정답은 없지만, 위에서 장황하게 설명한 히스테리시스 개념을 잘 생각해보시면 됩니다. 즉, 예를들어 UP의 기준은 1580us로 정하고 DOWN의 기준은 1420us로 정하면 중립과 UP/DOWN과의 버퍼는 30us가 되는 겁니다.

PPM 설정 방법 : 조종기 메뉴 -> System -> RX Setup -> PPM Output을 ON으로 설정

490Hz일 때랑 60Hz일 때랑 뭘 차이지?

Output Configuration

Bank(Channels)	1 (1-8)	2 (4)	3 (5,7-8)	4 (6,9-10)
Update rate	60 Hz	60 Hz	60 Hz	60 Hz
Mode	PWM	PWM	PWM	PWM

Output Channel Configuration

# - Bank	Assignment	Min	Neutral (slowest for motor)	Max	Reversed	Link
1	VTOLMotorNW	1000		1001 1900	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2	VTOLMotorNE	1000		1001 1001	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
3	VTOLMotorSE	1000		1001 1001	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
4	VTOLMotorSW	1000		1001 1001	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

1070us부터 모터가 돌기 시작하고 1080us에는 캘리브레이션이 맞춰짐.

MAX값은 2000이 아니라 1900으로 되어있네

- 모터제어 PWM
- 수신기 타이머
- 수신기 인터럽트??
- MPU6050

타이머/카운터 1로 시간
측정을 하면서 동시에
이 핀으로 다른 것을
사용할 수 있나?

