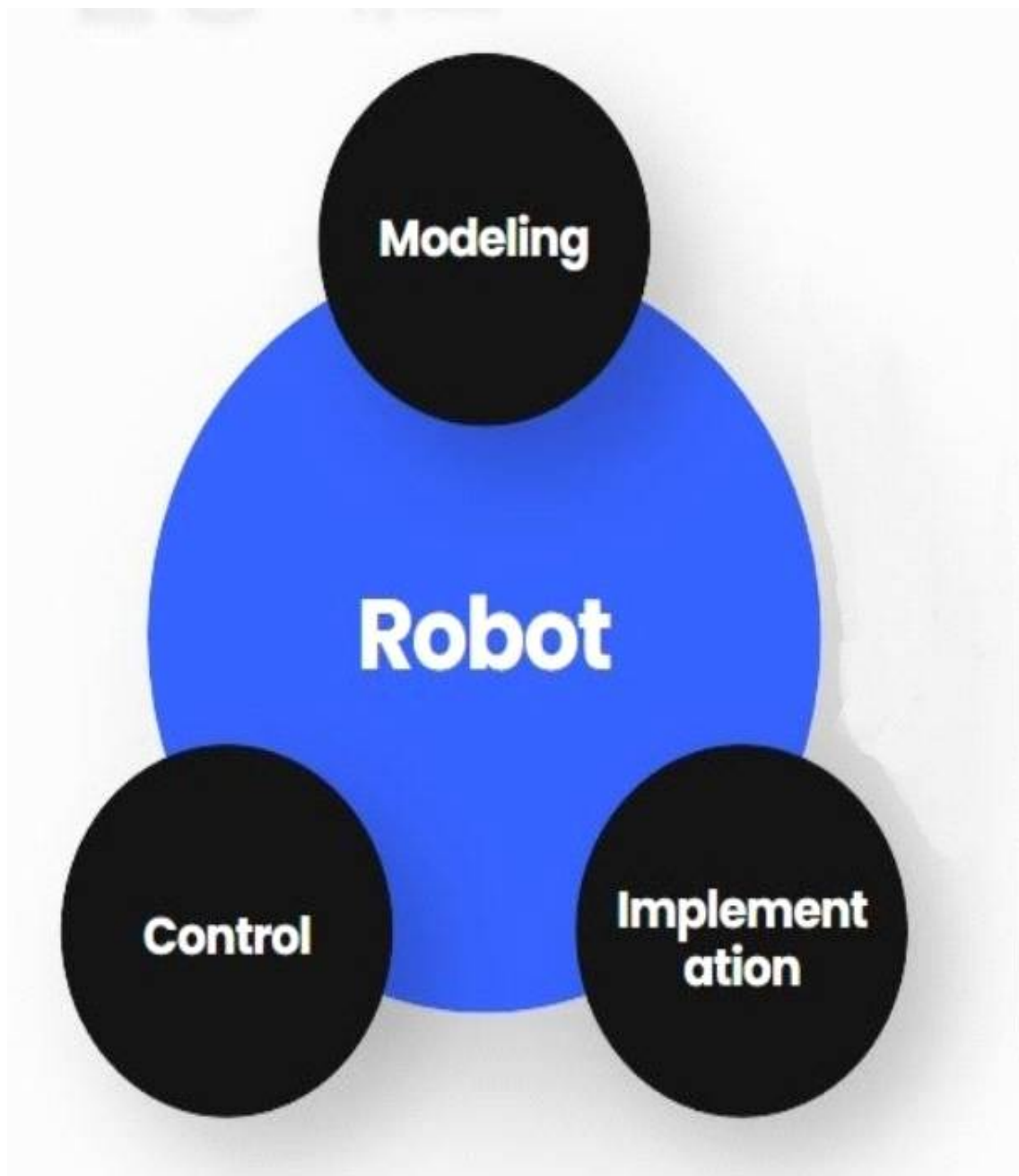


<Modeling>



<목차>

1.이론

가.Forward Kinematics

나.Inverse Kinematics

다.로봇팔의 구조와 종류

2.설계목표

3.조립 과정

가.전체구성

나.Link1,모터고정부

다.Link1,2

라.Link2,3

4.설계 과정

가.Motor

나~라.Link1~3

마.기타부품들

바.모터고정부

5.결과 및 분석

Part I <설계부>

1.이론

가. Forward Kinematics

Forward Kinematics은 주로 로봇공학에서 사용되는 개념으로 (기계)관절의 각도나 위치가 주어졌을 때 (기계)관절의 최종 위치와 방향을 계산할 때 쓰인다.

따라서 로봇팔의 각 관절 각도가 주어졌을 때, 팔의 끝부분이 어디에 위치하는지를 알 수 있고 이를 통해 로봇의 팔이나 다리 등의 각 관절이 어떻게 움직일지를 예측하거나 제어할 수 있다.

나. Inverse Kinematics

Inverse Kinematics도 Forward Kinematics 마찬가지로 (기계)관절의 각도나 위치가 주어졌을 때 로봇의 다리나 팔 등의 최종 위치와 방향을 계산할 때 쓰인다.

하지만 Inverse kinematics는 Forward Kinematics와 달리, 관절의 위치와 방향을 입력으로 받아, 각 조인트의 각도를 결정한다. 즉, 관절의 끝을 원하는 위치와 방향으로 이동시키기 위해 각 조인트가 어떤 방향, 각도로 어떻게 움직여야 하는지를 현재 위치에 의거하여 계산하므로 로봇팔의 목표 위치를 제어하는데 보다 용이하다.

Forward Kinematics : 각도 \rightarrow 위치

Inverse Kinematics : 위치 \rightarrow 각도

따라서 본 프로젝트에서는 로봇팔 움직임의 안정성과 제어의 용이성 때문에 Inverse Kinematics를 이용하였다.

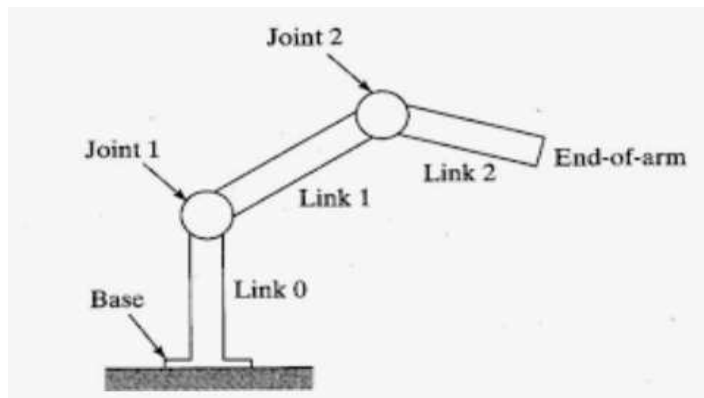
다. 로봇팔의 구조와 종류

1) Link

로봇팔에서 조인트에 연결되어 토크를 전달하는 부분으로 사람의 팔과 유사한 역할을 한다.

2) Joint

로봇팔과 로봇팔을 연결하는 연결부를 지칭하는 말로 사람의 연결과 유사한 역할을 한다.



<components of a robotic arm>

3) Planar

Planar(플라나)는 2차원 평면에서 움직이는 로봇팔을 말한다. 것을 나타낸다. 따라서 각 조인트는 제한된 방향으로의 회전만 가능하다.

4) Rotary

Rotary(로터리)는 각 조인트가 다양한 방향으로 회전 할 수 있는 회전 조인트인 경우를 나타낸다. 따라서 로터리 로봇팔은 3차원 평면에서의 움직임도 가능하다.



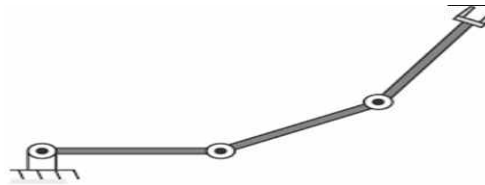
<Rotary>



<Planar>

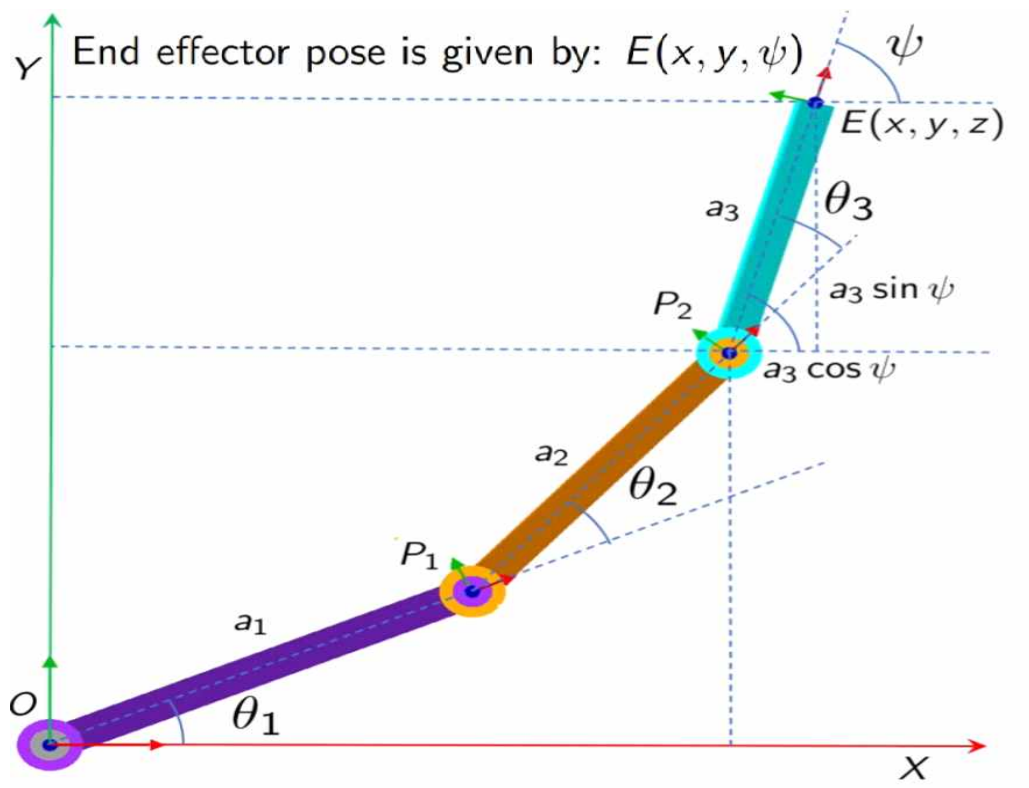
2.설계 목표

본 프로젝트의 구현 목표는 로봇팔을 이용하여 간단한 도형을 그리는 것으로 이를 위해선 구현하는 어려움이 있는 3차원의 Rotary보다는 2차원의 planar 가 적합하다고 판단되었고 그림을 그릴 수 있는 사람의 팔도 3개의 joint로 연결되어 있듯이 그림을 그리기 위해서는 로봇팔도 최소한 3개의 joint는 필요하다고 판단되어 최종 설계 목표는 '3 Joint Planar Robotic Arm'을 이용한 간단한 도형그리기로 결정하였다.



<example>

이를 위해선 앞서 언급한 Inverse Kinematics가 요구되는데 이를 그림과 수식으로 요약하면 다음과 같다.



<3DOF Planar , z=0>

앞의 그림에서 End effector pose는 Inverse Kinematic로 각도 $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ 를 계산하기 위한 입력(위치)이라고 보면 된다.

참고로 ‘ ψ ’ ($\theta_1, \theta_2, \theta_3$ 의 합)는 로봇팔이 무질서하게 움직이는 것을 방지하기 위해 설정한 각도 제약조건으로 상수이다.

이 때 x, y, z 는 다음과 같이 나타낼 수 있고,

$$\begin{cases} x_3 = a_1 \cos(\theta_1) + a_2 \cos(\theta_1 + \theta_2) + a_3 \cos(\psi) \\ y_3 = a_1 \sin(\theta_1) + a_2 \sin(\theta_1 + \theta_2) + a_3 \sin(\psi) \\ x_2 = a_1 \cos(\theta_1) + a_2 \cos(\theta_1 + \theta_2) \\ y_2 = a_1 \sin(\theta_1) + a_2 \sin(\theta_1 + \theta_2) \\ x_1 = a_1 \cos(\theta_1) \\ y_1 = a_1 \sin(\theta_1) \end{cases}$$

이를 행렬을 통해 $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ 에 대하여 정리하면 우리가 애초에 목표로 한 위치를 통한 각도 구현(Inverse Kinematics)을 실현할 수 있다.

※ 참고: <https://www.youtube.com/watch?v=NjAAKruKiQM&t=2703s>

3.조립 과정

가. 전체 구성

가-1. 사용도구

- (고정)드릴:

각 부품의 연결부에 볼트를 결합할 구멍을 뚫기 위해 사용한다.

- 볼트와 너트:

각 부품의 연결부에 안정성을 주기 위함으로, M2와 M3사이즈를 사용한다.

- 고정 장치:

드릴을 사용할 때, 부품을 고정시키기 위하여 사용한다.

- 인두기:

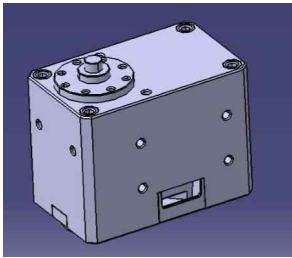
납땀을 통해 전기선의 길이를 연장시킬 때, 사용한다.

- 그 밖:

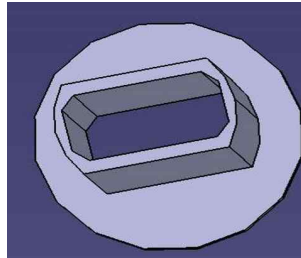
순간접착제, 드라이버, 사포 등

가-2. 부품

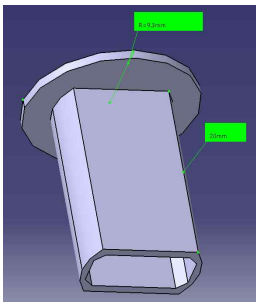
A. 모터 x 3



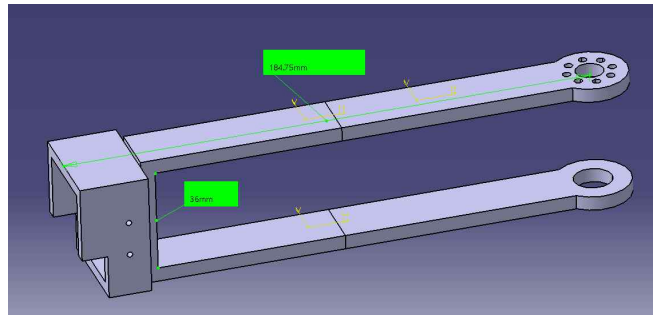
B. 모터연결 부품1 x 3



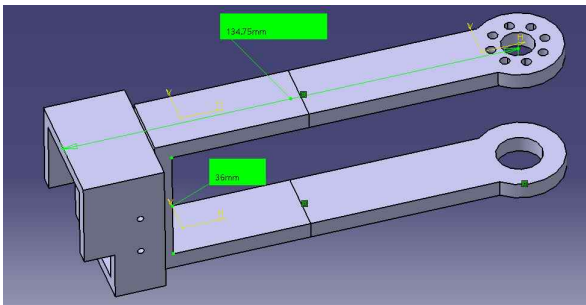
C. 모터연결 부품2 x 3



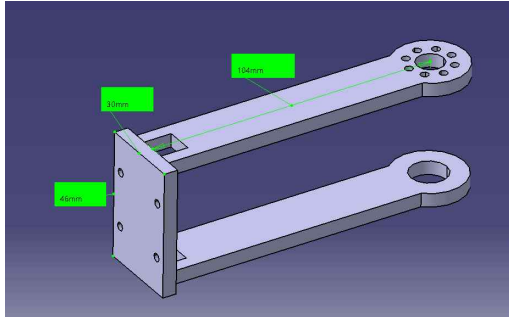
D. Link1 x 1



E. Link2 x 1



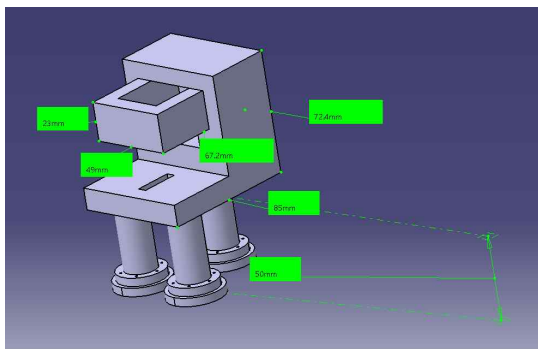
F. Link3 x 1



G. Link 연결부 x 4



H. 모터 고정부 x 1



가-3. 사전 제작 과정

가-3-1. 전기선 연장

각 모터를 연결하는 전기선의 길이를 연장하기 위해, 납땜을 진행하였다.

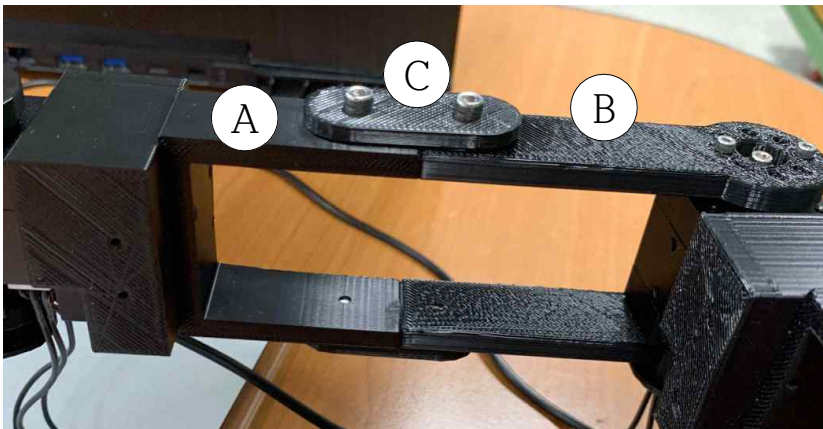
- ① 두 전기선에서 결합시킬 부분의 겉 부분을 적당히 제거한 뒤, 고무 덮개를 통과시킨다.
- ② 내부의 전기선 가닥을 적당히 꼬아준 뒤, 인두기를 사용하여 납땜을 진행한다.
- ③ 납땜부에 고무 덮개를 씌우고 열을 가해 고정시켜준다.
- ④ 이후 전류가 잘 흐르는지 확인한다.

가-3-2. 표면 갈기

3D프린터로 뽑은 부품의 사이즈의 오차가 발생하여 이를 줄이고, 표면을 부드럽게 하기 위해 사포를 이용하여 갈았다. 특히 모터 고정부의 결합을 원활하게 할 때 필요하였다.

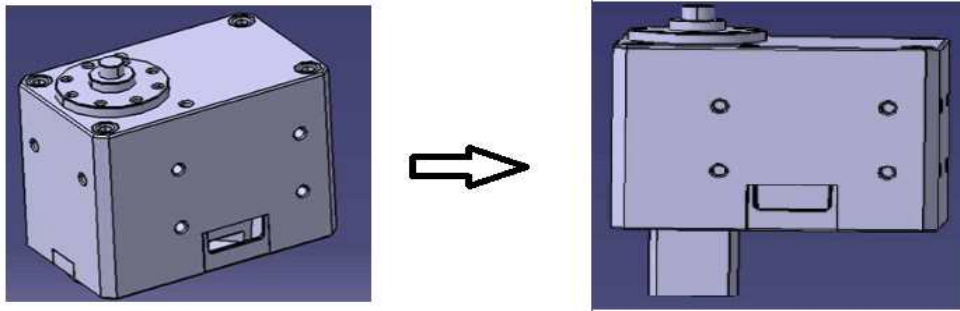
가-3-3. 로봇 팔 결합

- ① A, B와 C를 순간접착제를 이용하여 고정시킨다. 접착이 잘 되지 않는다면 각 표면을 갈아서 붙여준다. 이때 A와 B가 연결이 되는 것이 맞는지 주의한다.
- ② 부품을 잘 고정시킨 뒤, C에 뚫린 구멍을 기준으로 드릴을 이용하여 A, B의 구멍을 뚫는다. 처음엔 고정장치를 통해 드릴을 사용하였지만 나중에는 안전과 정확성을 위해 고정 드릴을 사용하였다.
- ③ 볼트를 통해 결합한다. 고정이 약하다면 너트를 통해 안정성을 높여준다. 이때 주로 M2, M3 사이즈의 볼트를 사용하였다.



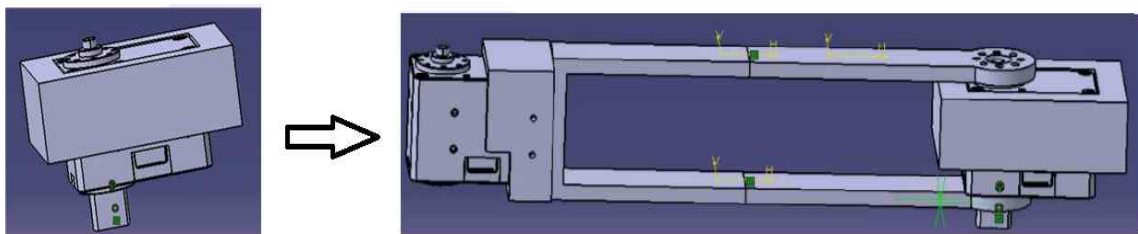
나. Link1, 고정부

#1



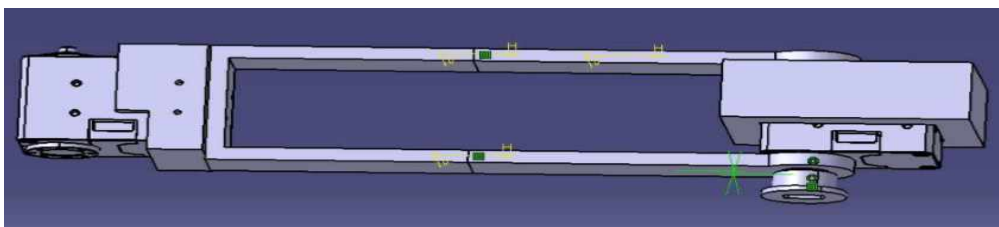
- 모터 아래쪽의 나사를 풀어 아래쪽 면을 분리한 후에 모터 연결 부품1을 넣고 아래쪽 면을 다시 체결한다.

#2



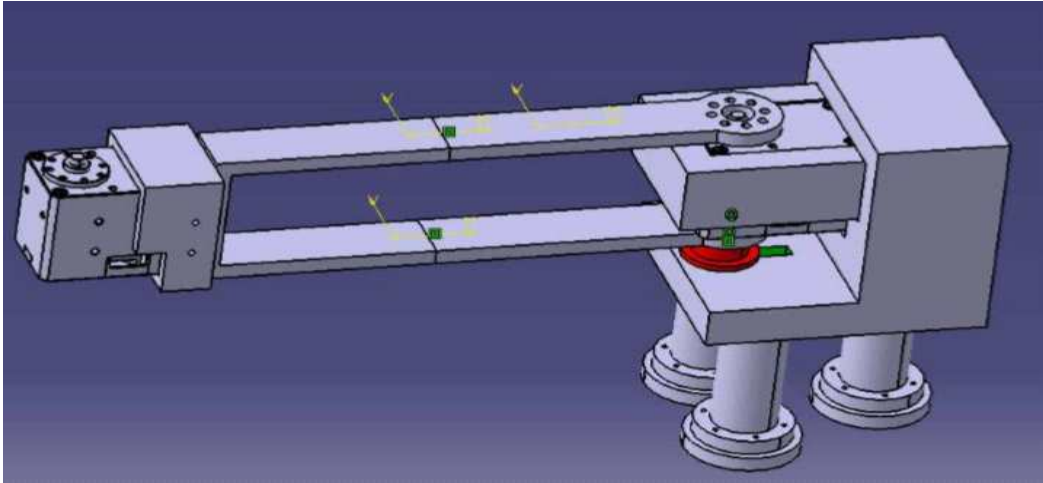
- Link1의 왼쪽에는 그림과 같이 모터를 끼우고 고정부 사진1의 빨간 부분을 모터에 씌운 뒤, 오른쪽 위는 모터 회전부와 나사로 연결하고 아래쪽은 모터 연결 부품1에 끼운다. 이때 두 막대를 살짝 벌려서 끼워야 되는데 부러지지 않게 주의한다.

#3



- 오른쪽 모터의 아래쪽 '모터 연결 부품1'의 튀어나온 원기둥에 '모터 연결 부품2'를 끼운다.

#4



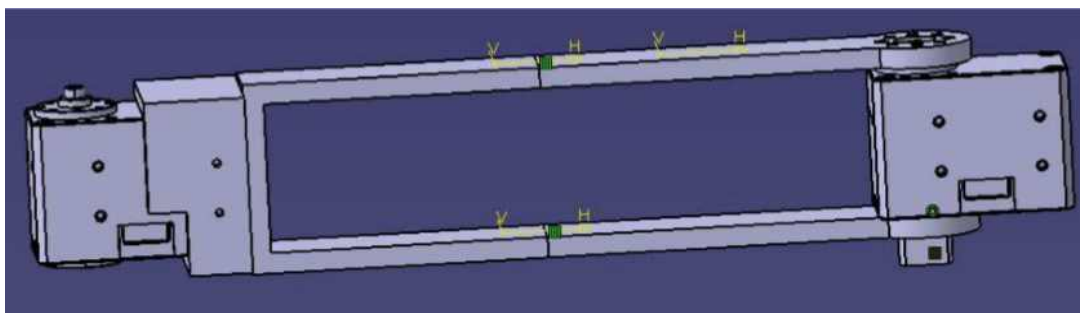
- 모터 연결 부품2(빨간 부분)에서 나온 전선이 초록색 구멍을 통해 두 기둥 사이로 나올 수 있도록 한 뒤, 고정부에 수평으로 밀어 넣는다.

다. Link1, Link2

#1

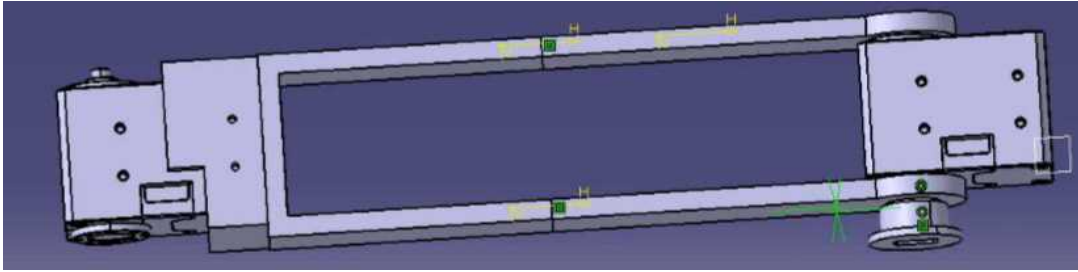
- 가와 동일하다.

#2



- Link2의 왼쪽에는 그림과 같이 모터를 끼운다. 오른쪽 위는 모터 회전부와 나사로 연결하고 아래쪽은 모터 연결 부품1에 끼운다.

#3



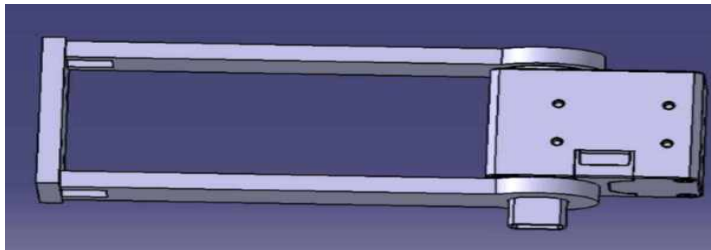
- 오른쪽 모터의 아래쪽 '모터 연결 부품1'의 튀어나온 원기둥에 모터 연결 부품2를 끼운다.

라. Link2, Link3

#1

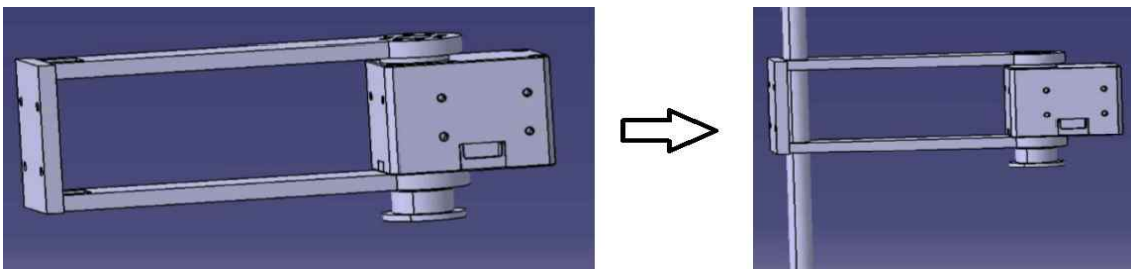
- 가,나와 동일하다.

#2



- 그리퍼(Link3)를 Link1, Link2와 같이 연결한다.

#3



- 모터 연결 부품2를 Link1, Link2와 같이 연결한 뒤, 그리퍼의 왼쪽 정사각형 구멍에 펜을 끼우고 유격을 줄이기 위해 케이블 타이로 펜을 고정한다.

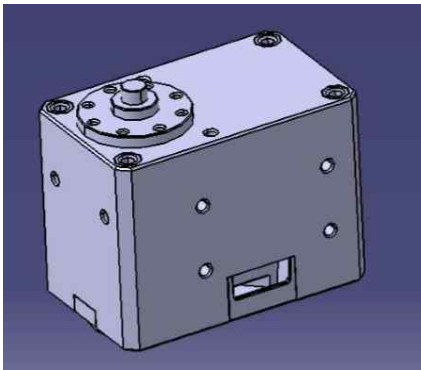
4.설계 과정

설계 시 CATIA P3 V5R21을 통해 모델링하였다.

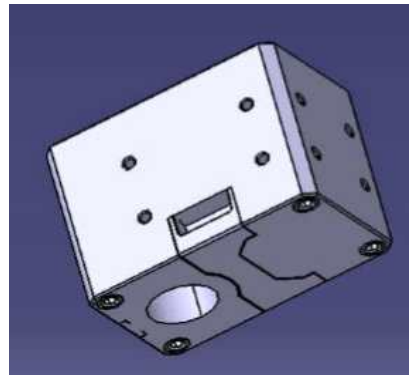
가. Motor

모터는 로봇팔에서 Joint의 역할을 하며 Link와 Link를 연결시켜주는 역할을 한다. 본 프로젝트에 사용된 모터는 ROBOTIS사의 XM430-W350-T로 다음과 같이 회전부(윗부분)과 돌출부(아랫부분)으로 구성되어 있다. 카티아 설계 시 사용한 step파일은 ROBOTISshop의 도면 자료실을 통해 이용할 수 있었다.

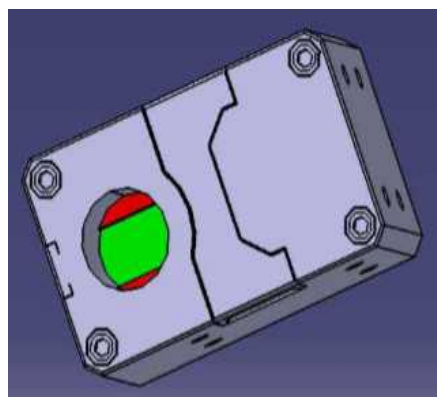
회전부와 Link를 볼트로 체결하여 고정시킬 수 있다.



<사진 1 , 회전부>



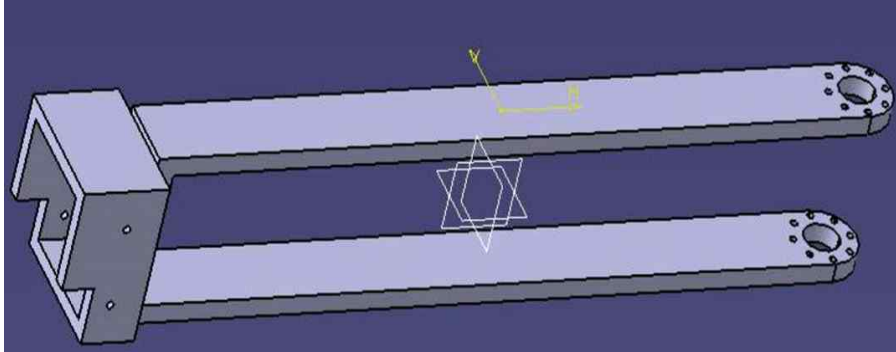
<사진 2 , 고정부>



<사진 3 , 고정부>

사진3의 빨간 부분은 약 2mm정도 돌출되어있고, 초록색 부분은 모터의 안쪽으로 뚫려있다.

나. Link1



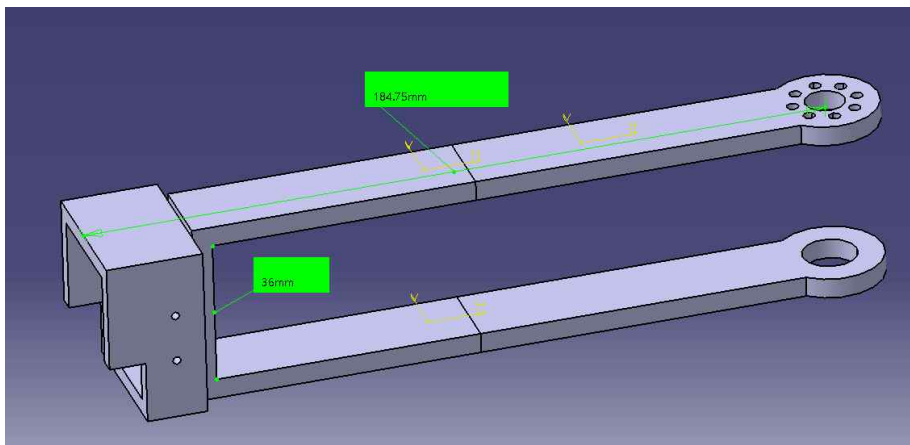
<사진 1 , Link1 초기>

우선, 두 막대 사이에 공간을 두고 막대의 두께를 5mm로 충분하게 만들어서 가벼우면서도 전체적으로 튼튼하게 만들었다.

각 Link1,2,3의 길이는 각각 20cm,15cm,10cm로 이는 도화지와 도형을 그릴 필기구의 크기와 가동범위 등을 고려해 정한 길이이다.

위 Link1의 오른쪽 원의 중심부터 왼쪽 끝까지 길이는 약 18.5cm이다. 이는 조립시 Link1의 길이가 오차를 포함해 약 20cm가 되도록 하기 위함이다.

설계 초기에는 사진 1과 같이 모터의 아래쪽에도 회전부가 있을 것으로 예상하고 위, 아래를 똑같이 구멍을 뚫어 만들었는데, 이후 아래의 사진 2와 같이 모터 아래쪽에 연결할 회전부가 없어서 해당 위치에 있는 마개를 제거하고 뚫려 있는 구멍과 연결할 방법을 생각하게 되었다.

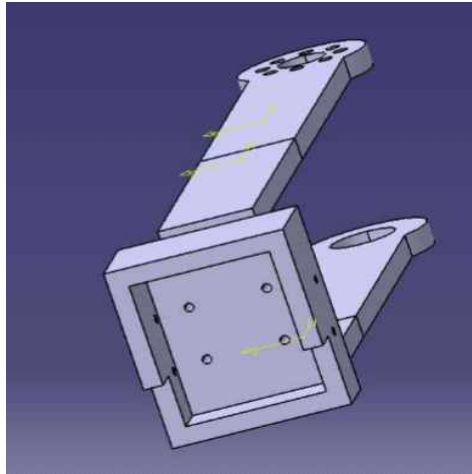


<사진 2 , Link1 최종>

그리고 오른쪽 막대 끝이 짧아서 모터와 나사를 연결하였을 때 부러질 우려가 있어 그 주변을 좀 더 두껍게 수정하였다.

또한 오른쪽 두 막대 사이에 모터의 회전부가 위를 향하도록 위치시키고 윗부분은 볼트를 박고 아랫부분은 뒤에 설명할 모터 연결 부품1을 통해 모터와 연결한다.

원래는 왼쪽 뚜껑 부분에 모터의 뒷부분을 끼우고 나사를 박아 고정하려고 했으나 실제로는 끼우는 것만으로도 충분히 고정이 되었다.



<사진 3 , Link1 왼쪽 고정부>

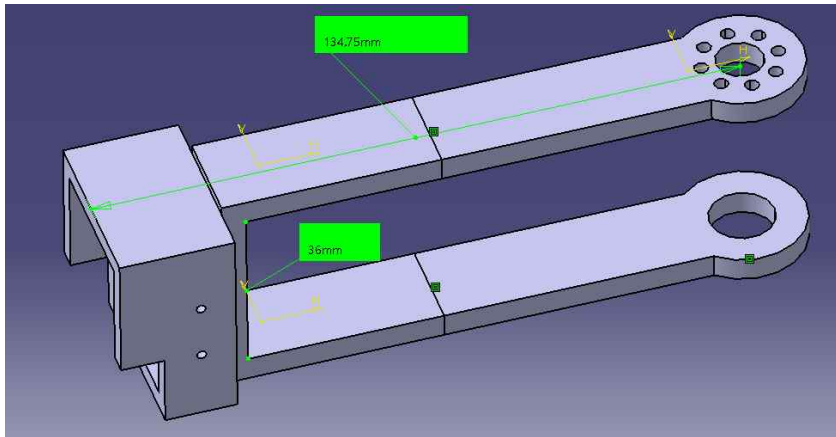
마지막으로 위 사진 3에서 왼쪽 뚜껑 부분이 직육면체가 아닌 그자 형태인 이유는 모터 모터 아래쪽의 전선 연결부를 가리지 않기 위함이다.

실제 모터와 Link를 연결한 모습은 아래의 사진 4과 같다.



<사진 4, 실제 3D프린트 출력해 모터와 체결한 모습>

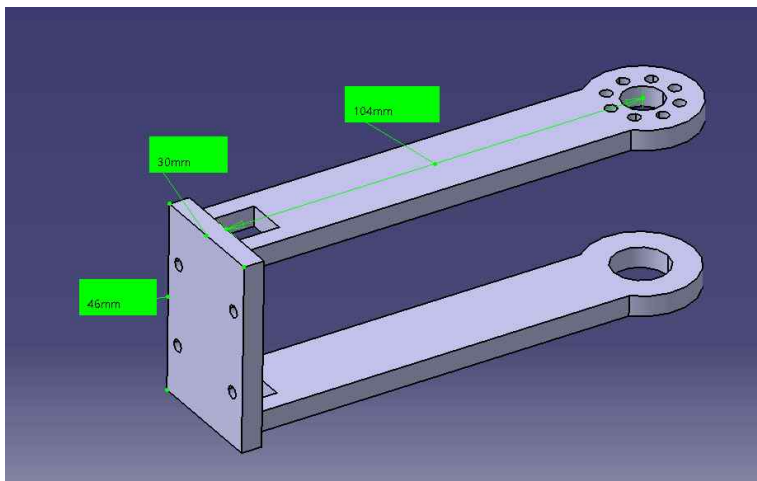
다. Link2



<사진 1 , Link2 최종>

위 Link2의 오른쪽 원의 중심부터 왼쪽 끝까지 길이는 약 13.5cm이다. 이는 조립 시 Link1와 마찬가지로 조립시 길이가 오차를 포함해 약 15cm가 되도록 하기 위함이다. 이외에는 Link1와 동일하게 설계했다.

라. Link3(그리퍼)

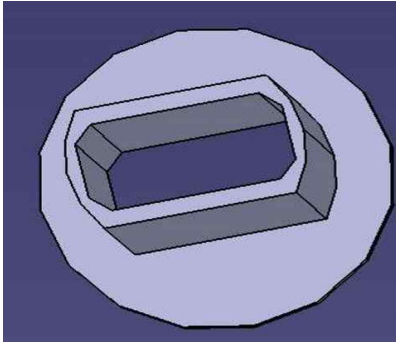


<사진 1 , Link3 최종>

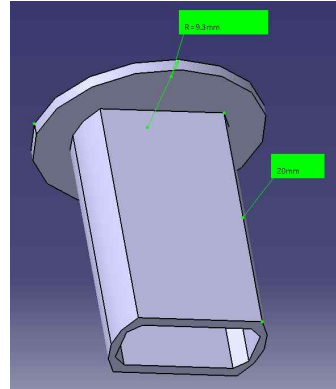
오른쪽 원의 중심부터 왼쪽 정사각형의 중심까지 길이는 약 10cm로 이는 조립시 링크3의 길이가 약 10cm가 되도록 하기 위함이다. 원래는 왼쪽의 정사각형에 펜을 넣고 판을 하나 더 덧대서 왼쪽 판의 구멍에 나사를 박아 고정하려고 했으나 실제로는 정사각형에 펜을 넣고 케이블 타이로 고정하였다.

마. 기타부품들

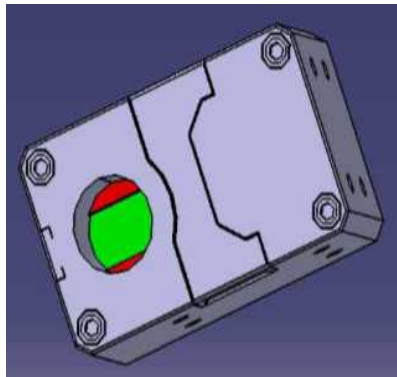
1) 모터 연결 부품1



<사진 1 , 모터연결부품1>

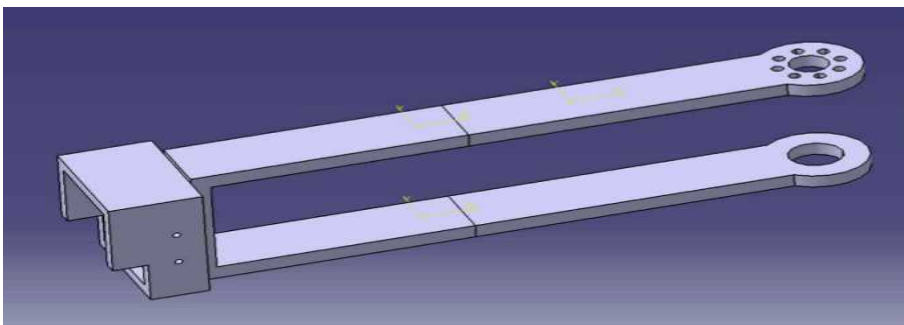


<사진 2 ,모터연결부품1>



<사진 3,모터 아래>

위 모터 사진 초록색 부분을 통과하도록 끼우는데 빨간 부분에 걸리는 것을 막기 위해 원기둥의 위, 아래를 자른 형태로 만들었다.



<사진 4, Link>

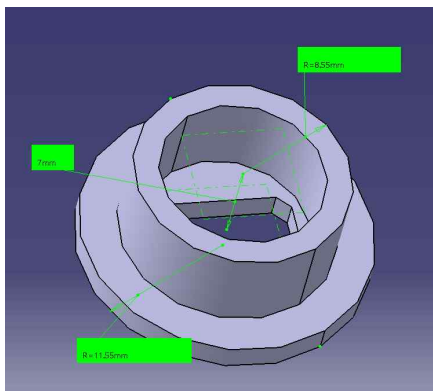
이는 로봇팔 동작시 Link1,2,3의 오른쪽 아래 막대의 좌우 유격을 줄이기 위해 만든 부품으로 모터 연결 부품1의 원기둥이 아래를 향하도록 모터와 연결하고 각 링크의 아래쪽 막대를 원기둥에 끼운다.

막대 구멍의 지름과 원기둥의 지름에 약간 여유를 두어서 각 링크의 위쪽 막대가 모터 회전부에 의해 돌아갈 때 아래쪽 막대도 원활하게 따라 돌아갈 수 있도록 하였다.

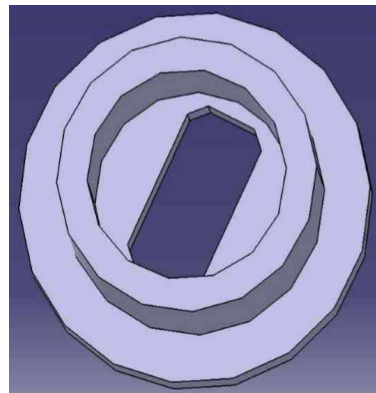
모터 연결 부품1 가운데의 뚫린 곳을 통해 모터의 전선이 모터 내부에서 외부로 빠져 나간다.

참고로, 모터 연결 부품의 얇은 원판의 두께는 약 1mm로, 이는 모터와 연결했을 때 모터와 분리되지 않고 걸려있도록 하기 위해서 만든 것이다.

2) 모터 연결 부품2



<사진 1 , 모터연결부품2>



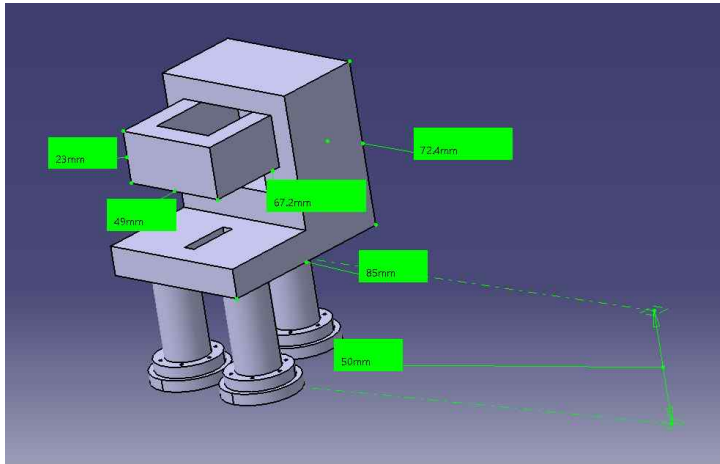
<사진 2 , 모터연결부품2>

로봇팔 동작시 Link1,2,3의 오른쪽 아래 막대의 상하 유격을 줄이기 위해 만든 부품으로, 모터 연결 부품1의 원기둥에 각 링크의 아래쪽 막대를 끼우고 그 밑으로 튀어나온 약 9mm의 돌출 부분에 모터 연결 부품2를 뚜껑처럼 씌운다.

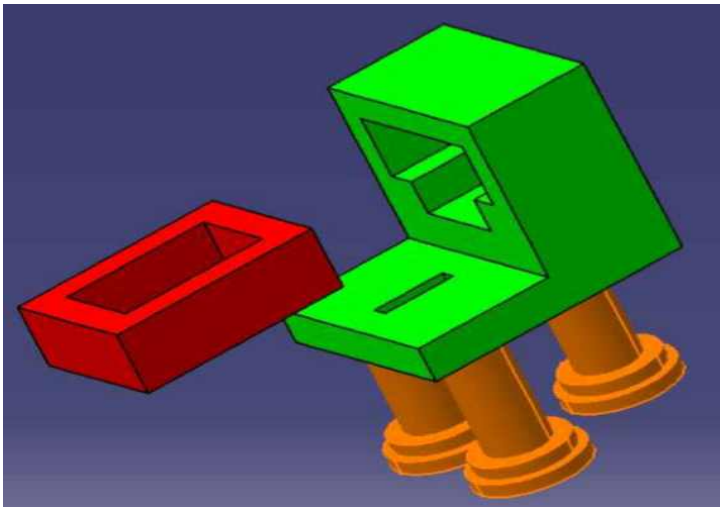
모터 연결 부품2의 원기둥 높이는 약 8mm로, 조립시 각 링크 아래쪽 막대와 1mm의 여유를 두어 동작시 심한 마찰이 발생하지 않으면서도 상하 유격을 어느 정도 막을 수 있도록 하였다.

모터 연결 부품2의 가운데에 뚫린 구멍 역시 모터의 전선이 밖으로 빠져나올 수 있도록 하기 위함이다.

바. Motor 고정부



<사진 1 , 모터고정부>



<사진 2 , 모터고정부>

고정부는 사진1과 같이 크게 3부분으로 나눌 수 있다. 아래쪽의 기둥 3개는 본드를 통해 윗부분과 연결하였다.

먼저 빨간 부분에 모터를 끼운 후에 모터에 팔1, 모터 연결 부품1,2를 연결하고 이를 통째로 초록색 부분에 끼운다.

빨간 부분은 모터를 윗면에서부터 2/3까지만 덮도록 되어있는데 이는 모터 아래쪽의 전선 연결부를 가리지 않기 위함이다.

빨간 부분을 만든 이유는 고정부가 모터를 전체적으로 감싸주면서 모터고정부에 Link1,2,3으로부터 가해지는 하중을 안정적으로 버티기 위함이다.

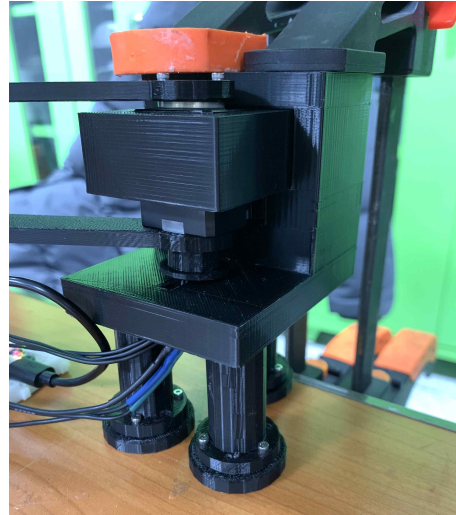
사진1의 초록색 부분에 직사각형 모양으로 구멍이 뚫려 있는 이유는 모터의 전선이 구멍을 통해 밖으로 빠져나와 두 기둥 사이를 지나면서 로봇팔 동작시 전선이 걸리지 않기 위함이다.

구멍을 직사각형으로 길게 뚫은 것은 빨간 부분, 모터, 팔1, 모터 연결 부품1,2를 연결하고 (이를 ‘모터 뭉치’라 칭함) 모터의 전선을 초록색 부분의 구멍을 지나가도록 한 뒤, 초록색 부분에 ‘모터 뭉치’를 수평으로 끼워넣을 때 전선이 걸리지 않도록 하기 위함이다.

5.결과 및 분석

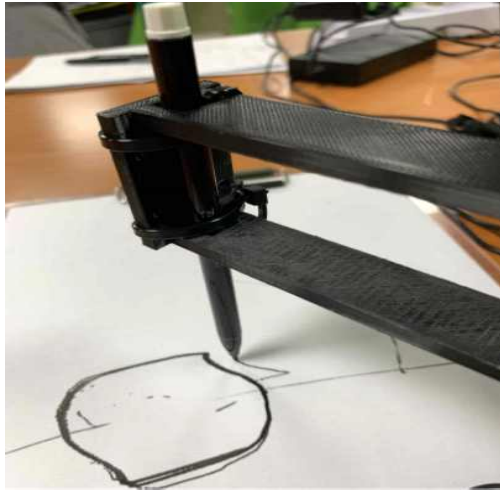


<사진 1 , 완제품>



<사진 2 , 모터고정부>

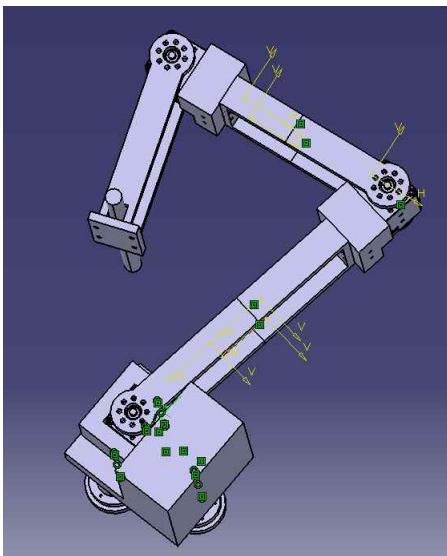
- 처음 3D 프린터로 인쇄를 하니 설계했을 때 유격이 생겨서 각 부품들끼리 체결이 되지 않았다.
- 이로 인해 설계시 적절한 치수를 계산하는데 시행착오를 꽤 겪었다.
- 로봇팔을 구동해보니 모터 고정부의 뒷부분이 항상 공중으로 붕 떴다. 이는 토크를 버티지 못해 발생한 현상으로 토크(rF)를 버티기 위해서는 로봇팔에 걸리는 하중(F)보다 훨씬 더 큰 하중을 모터고정부의 뒷부분에 설정해야함을 간과해서 발생한 일이었다. 따라서 이를 해결하기 위해 사진 2와 같이클램프로 모터고정부 뒷부분을 고정시켰다.
- 사진 2와 같이 클램프로 고정하자 로봇팔은 쓰러지지 않고 정상적으로 작동하였다. 이는 모터고정부가 Link1,2,3으로부터 가해지는 하중을 버틸 수 있다는 말이고 이는 모터고정부의 설계 자체는 성공적이었다는 것을 의미한다.



<사진 3 , 성공적 동그라미>

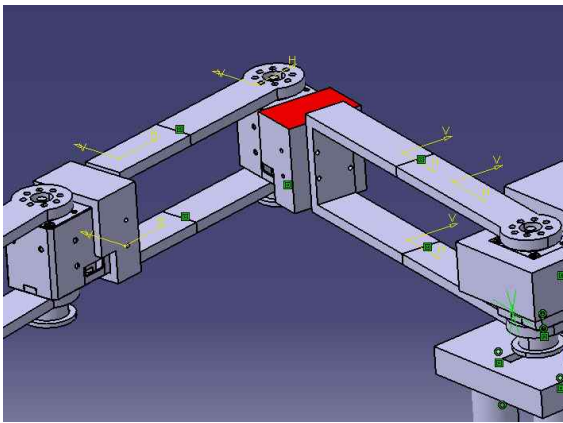


<사진 4 , 전체 모습>

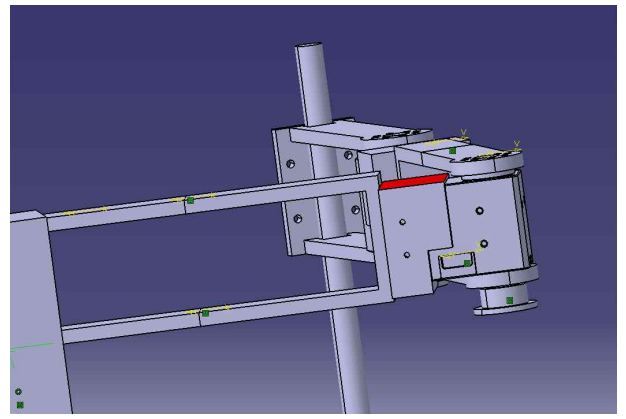


<사진 5 , 구조상 회전 각도 제한>

- 최종적으로 조립했을 때 Link의 구조는 완벽하다고 생각했었는데 실제로 로봇팔을 구동해 보니 사진 5와 같이 좌우 90도 이상부터는 구조상 Link끼리 맞물리게 되면서 회전이 제한되었다.
- 이로 인해 원의 중심의 좌표를 설정하는데 많은 시행착오를 겪었다.
- 위와 같은 문제를 개선하기 위해 사진 6, 사진 7에서 볼 수 있듯이 각 Link에서 빨간 면의 두께를 얇게 하는 등의 개선 방법을 생각해볼 수 있을 것 같다.



<사진 6 , 구조 개선 예시>



<사진 7 , 구조 개선 예시>