

제6장 로봇팔 하드웨어 구성 및 조립

■ 학습목표

- 로봇팔을 구성하는 3D 프린팅 출력물과 전장 부품의 이름과 역할을 부품 라벨과 함께 구분할 수 있다.
- 가체결의 의미와, 서보 모터를 가체결로 두어야 하는 이유(캘리브레이션을 위한 재분해)를 설명할 수 있다.
- 서보 모터 네 개(DS35MG-180 세 개, MG-90S 한 개)가 로봇팔의 어느 관절을 담당하고, PWM 서보 드라이버 보드의 어느 채널에 연결되는지 말할 수 있다.
- 카메라 모듈부터 바텀 챔버까지 16단계의 조립 과정을 교재만 보고 스스로 완료할 수 있다.
- 그리퍼가 서보 모터 한 개로 양쪽 집게를 대칭으로 여닫는 링크 구조의 원리를 설명할 수 있다.

6.1 들어가며 — 이제 '집는 로봇'을 만든다

Part 2에서 우리는 모베드를 조립하고, 수동 주행을 거쳐 표지판 인식 자율주행까지 완성했다. 모베드가 '움직이는 로봇'이었다면, 이번 장부터 만드는 로봇팔은 '집는 로봇'이다. 한 자리에 고정된 채, 카메라로 물건을 바라보고 관절을 움직여 물건을 집어 올리는 것이 로봇팔의 역할이다. 학기 후반의 협력 미션에서 모베드가 물건을 싣고 이동하면, 로봇팔이 그 물건을 집어 옮기게 된다.

로봇팔의 관절은 서보 모터 네 개가 담당한다. 몸통을 좌우로 돌리는 **베이스**, 팔 전체를 앞뒤로 기울이는 **숄더(어깨)**, 팔꿈치를 굽히는 **엘보**, 그리고 집게를 여닫는 **그리퍼**다. 서보 모터 하나가 관절 하나를 맡으므로, 이 로봇팔은 네 개의 방향으로 움직일 수 있는 4자유도 로봇팔이 된다.

이번 장의 목표는 로봇팔 하드웨어 조립을 끝까지 완료하는 것이다. 단, 이번 장에서 조립하는 서보 모터 네 개는 모두 **가체결**(볼트에 힘을 전혀 주지 않고 자리만 잡아 놓은 상태) 상태로 둔다. 다음 장에서 서보 모터를 다시 분해해 기준 각도를 맞추는 **캘리브레이션** 작업을 거친 뒤에야 최종 조립을 하기 때문이다. 조립 중에 '가체결'이라는 말이 계속 등장하는 이유를 기억해 두자.

6.2 부품 확인 — 무엇으로 만들어지는가

조립을 시작하기 전에, 키트에 들어 있는 부품을 모두 꺼내어 아래 그림 및 목록과 대조한다. 부

품에는 알파벳 라벨이 붙어 있으며, 이후 조립 과정에서는 이 라벨로 부품을 지칭한다.



그림 6-1 완성된 로봇팔의 모습

이번 장에서 우리가 완성할 로봇팔의 전체 모습이다. 맨 아래의 바텀 챔버 안에 배터리와 서보 드라이버 보드가 들어가고, 그 위로 베이스·숄더·엘보 관절과 그리퍼가 차례로 쌓인다.

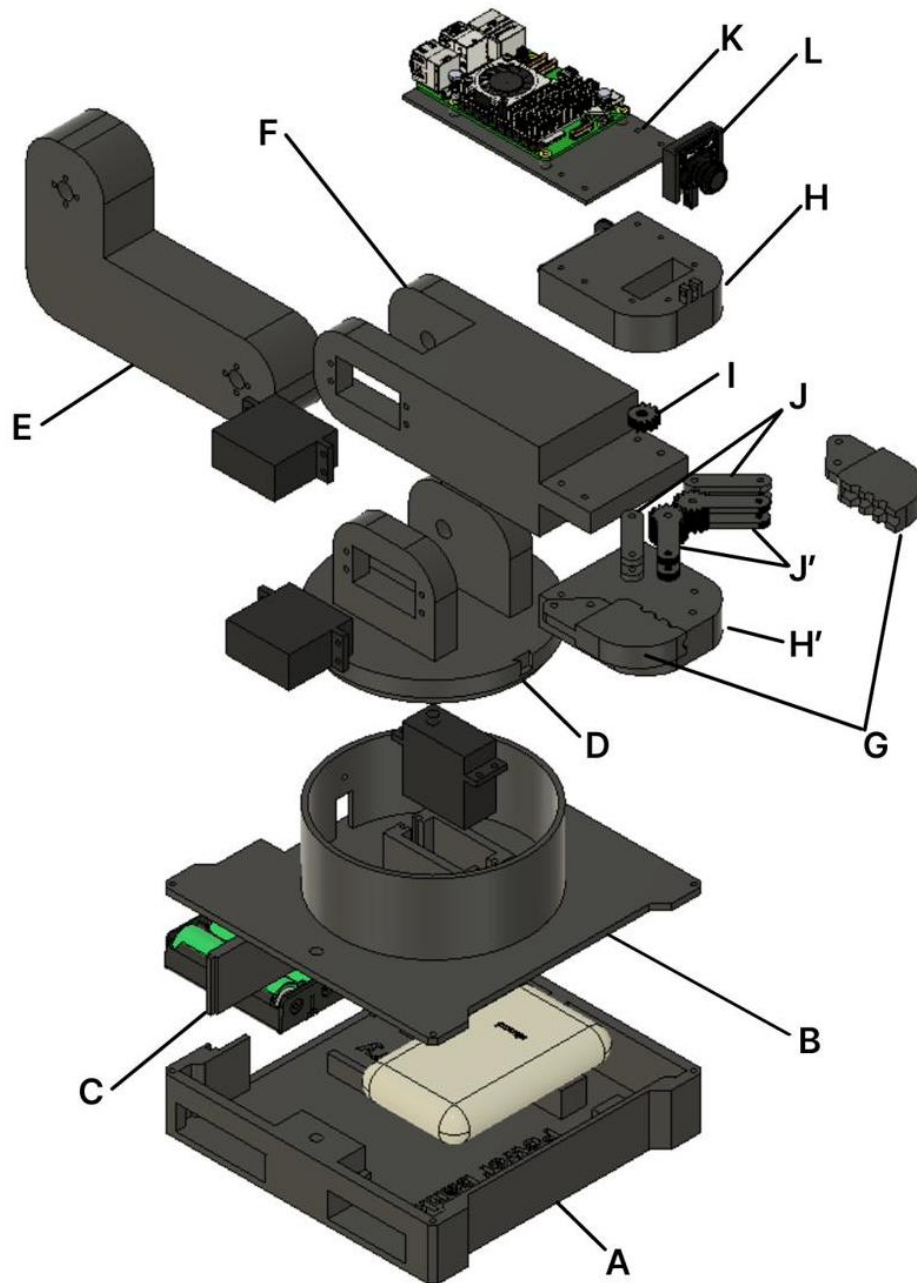


그림 6-2 전체 부품 전개도

로봇팔을 부품 단위로 펼쳐 놓은 전개도이다. 각 부품이 어느 위치에 들어가는지 조립 중에 헛갈릴 때마다 이 그림으로 돌아와 확인하자.



그림 6-3 전장부품 ①



M3 × 14 17개
M2.5 × 6.5 10개
M2 × 30 8개
서보 모터 볼트 12개

그림 6-4 전장부품 ②

3D 프린팅 출력물 목록

라벨	부품명	수량
A	바텀 챔버	1
B	베이스 서보 하우징	1
C	슬라이드 인 커버	1
D	솔더 서보 마운트	1

라벨	부품명	수량
E	어퍼 암	1
F	로우어 암	1
G	그리퍼	1
H	그리퍼 홀더 탭	1
H'	그리퍼 홀더 바텀	1
I	아이들 기어	1
J	그리퍼 링크	2
J'	그리퍼 링크 기어	2
K	라즈베리파이 마운트	1
L	카메라 마운트	1
-	커버 핀	2

전장 및 기계 부품 목록

라벨	부품명	수량
M	라즈베리파이5 (4GB)	1
N	라즈베리파이5 액티브 쿨러	1
O	OV5647 카메라 모듈 (160도)	1
O'	카메라 케이블 (30cm)	1
P	18650 리튬 이온 배터리 (3.7V, 보호회로)	2
Q	18650 2S 리튬 이온 배터리 홀더	1
R	배터리 충전기	1
S	SD 카드 (32GB)	1
T	드라이버 세트	1
U	DS35MG-180 서보 모터	3
V	MG-90S 서보 모터	1
W	PCA9685 16채널 PWM 서보 드라이버 보드	1
X	보조배터리 (10000mAh)	1

라벨	부품명	수량
Y	JST 플러그 케이블 (암/수)	1
-	리드선, 볼트 세트 (M3×14, M2.5×6.5, M2×30, SMB 등)	1식

커버 핀은 전개도에는 표시되어 있지 않다. 골프 티처럼 생긴 커버 핀 두 개는 외관 마감(미관)을 위한 부품으로, 분실하더라도 로봇팔이 기능하는 데는 전혀 지장이 없다.

빠진 부품이 있다면 조립을 시작하기 전에 담당 교수나 조교에게 알린다. 모베드 키트와 겉모습이 비슷한 부품(라즈베리파이, 카메라, SD 카드 등)이 있으니 두 키트가 섞이지 않도록 주의하자.

6.3 조립 전에 알아두기

가체결 — 이번 장에서 가장 많이 나오는 말

가체결이란 볼트에 힘을 전혀 주지 않고, 부품이 제자리에서 빠지지 않을 정도로만 자리를 잡아 놓는 조립 상태를 말한다. 이번 장에서 서보 모터 네 개는 모두 가체결로만 조립한다. 다음 장에서 서보 모터를 다시 꺼내 기준 각도를 맞추는 캘리브레이션 작업을 해야 하는데, 볼트를 꼭 조여 버리면 이 분해 과정에서 부품이 파손되거나 시간을 크게 낭비하게 되기 때문이다. 반대로 '다시 분해할 일이 없다'고 안내하는 부위는 적당한 저항감이 느껴질 때까지 견고하게 조여도 된다.

볼트 구분법

키트에는 여러 종류의 볼트가 들어 있다. 규격 표기(M3×14 등)에서 M 뒤의 숫자는 볼트의 굵기, × 뒤의 숫자는 길이(mm)를 뜻한다. 이번 장에서 사용하는 볼트는 다음 네 종류와 서보 전용 볼트이다.

- **M3×14 (검은색 나사)** — 서보 모터 고정, 로봇팔과 바텀 챔버 결합 등 가장 자주 쓴다.
- **M3×14 (은색 나사)** — 그리퍼와 링크 체결에 쓴다.
- **M2.5×6.5 (짧은 검은색 나사)** — 그리퍼용 서보와 라즈베리파이 마운트 체결에 쓴다.
- **M2×30 (긴 은색 나사)** — 그리퍼 링크 조립에 쓴다.
- **SMB (서보 모터 전용 볼트)** — 서보 축과 플랜지를 잇는 전용 볼트로, 6.4절의 단계 6에서 처음 등장한다.

서보 모터의 자리 — 채널 A·B·C·D

로봇팔의 서보 모터 네 개는 각각 정해진 자리가 있고, 그 자리의 이름을 채널 A·B·C·D라고 부른다. A는 베이스, B는 숄더, C는 엘보, D는 그리퍼다. 힘이 좋은 DS35MG-180 서보 모터(U) 세 개가 관절(A·B·C)을, 작고 가벼운 MG-90S 서보 모터(V)가 그리퍼(D)를 맡는다. 주의할 점은, 여기서 말하는 A~D는 **서보의 자리(채널) 이름**이지 부품에 붙은 알파벳 라벨이 아니라는 것이다. 예를 들어 부품 라벨 A는 바텀 챔버이지만, 채널 A는 베이스 서보의 자리를 가리킨다.

조립 중 주의사항

- 서보 모터의 축을 손으로 억지로 돌리지 않는다. 내부 기어가 손상될 수 있다.
- 카메라 케이블은 핀 방향이 반대로 꽂히면 인식되지 않는다. 삽입 방향 안내를 반드시 확인한다.
- 배터리 전원을 결선할 때 검은 선(GND)과 빨간 선(V+)을 절대 바꿔 연결하지 않는다. 반대로 연결하면 보드와 서보가 손상될 수 있다.
- 3D 프린팅 출력물은 무리한 힘을 주면 깨질 수 있다. '살짝', '적당한 저항감'이라는 표현이 나오는 부위는 특히 힘 조절에 주의한다.

6.4 로봇팔 조립 — 16단계

지금부터 카메라 모듈 준비에서 시작해 최종 배선 정리까지 16단계에 걸쳐 로봇팔을 조립한다. 각 단계의 그림과 그림 아래의 지시문을 순서대로 따라 하면 된다. 진행 중 부품의 위치가 헛갈리면 그림 6-2의 전개도로 돌아가 확인하자.

단계 1 카메라 모듈 조립



그림 6-5 카메라와 카메라 케이블

카메라(O)와 카메라 케이블(O')을 결합해 보자.

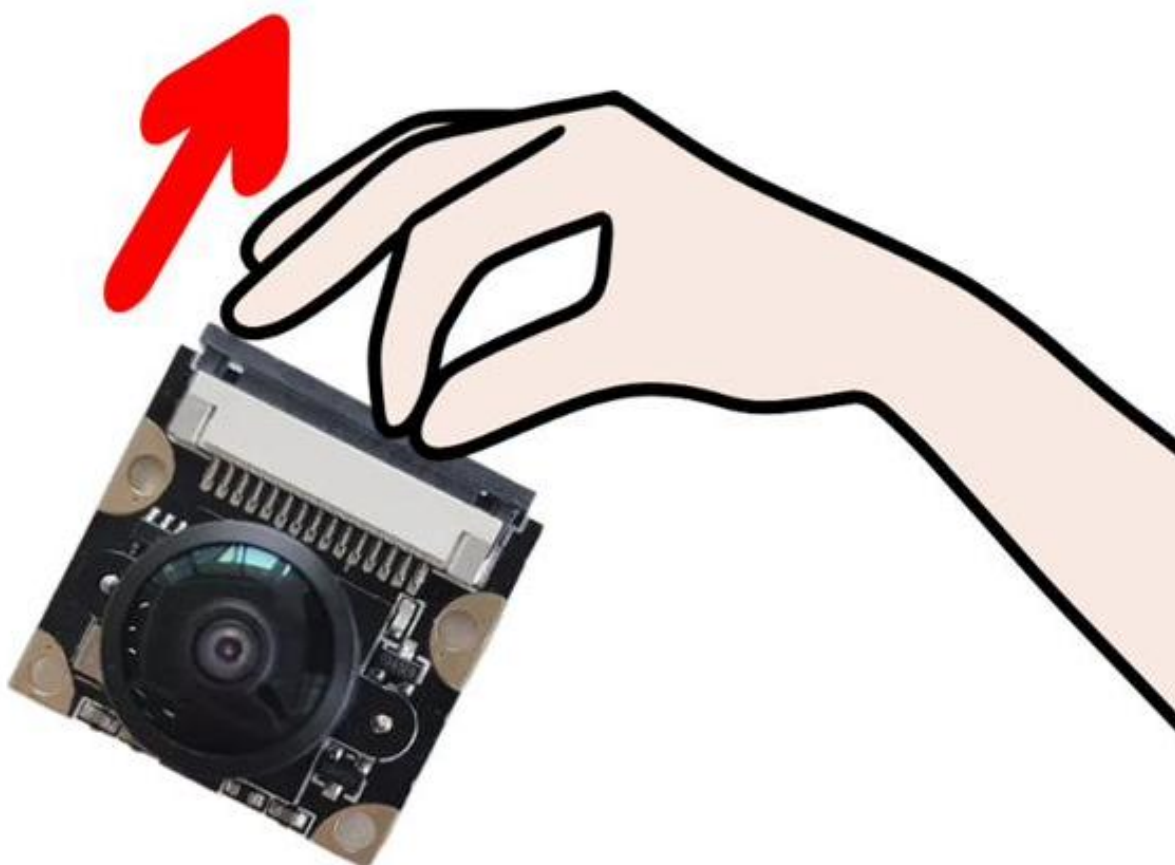


그림 6-6 카메라 클립 개방

카메라 위쪽의 클립을 그림에 보이는 방향으로 당겨 연다.

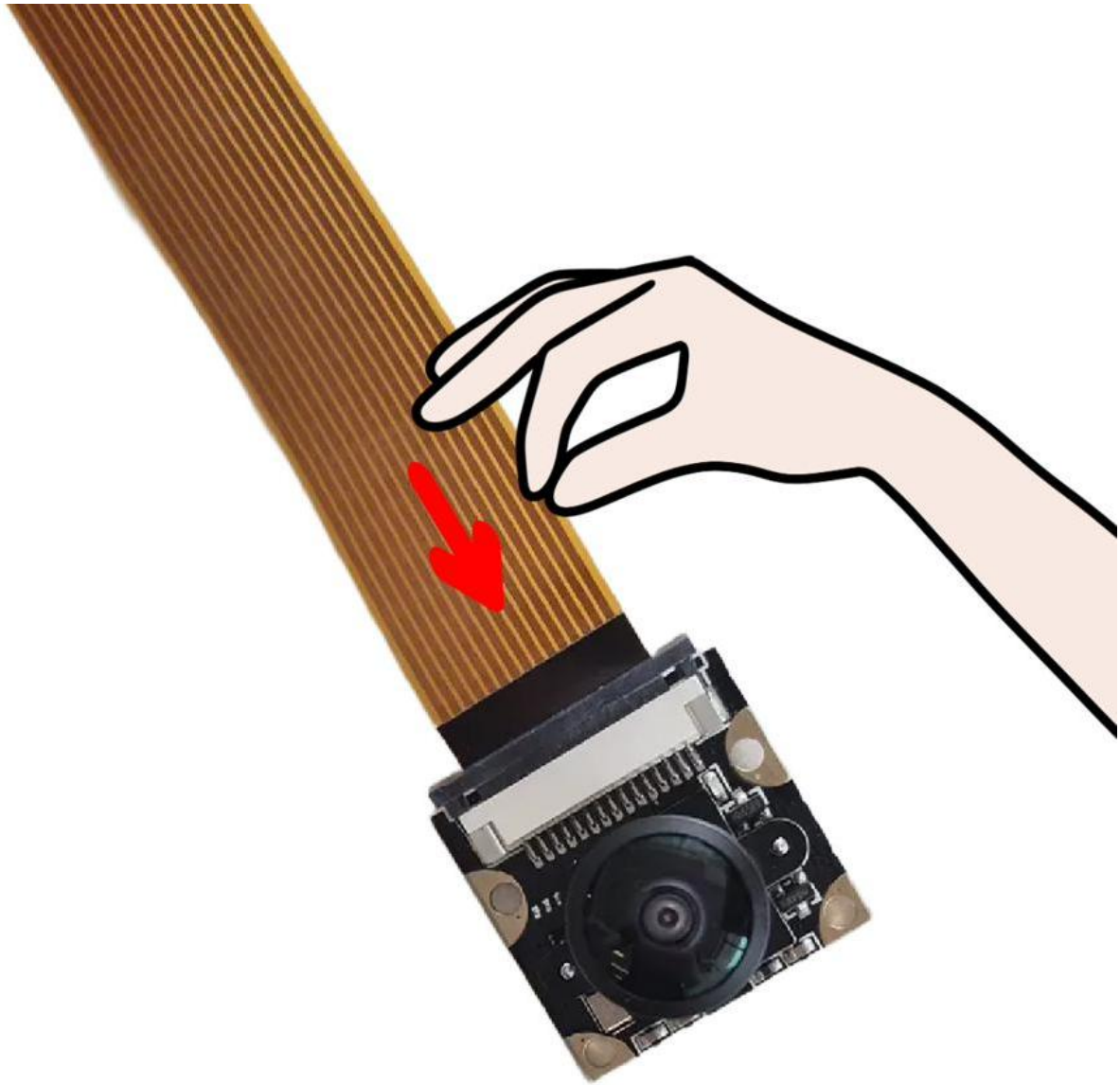


그림 6-7 카메라 케이블 삽입 방향

열려 있는 클립 안쪽으로 카메라 케이블의 한쪽 끝을 밀어 넣는다. 가능한 한 깊숙이 밀어 넣되, 이때 케이블의 검은색 면이 카메라 렌즈와 같은 방향을 향하게 한다. 금속 핀이 보인다면 뒤집어서 다시 넣는다. 반대로 삽입하면 카메라를 인식하지 못하는 문제가 발생한다.

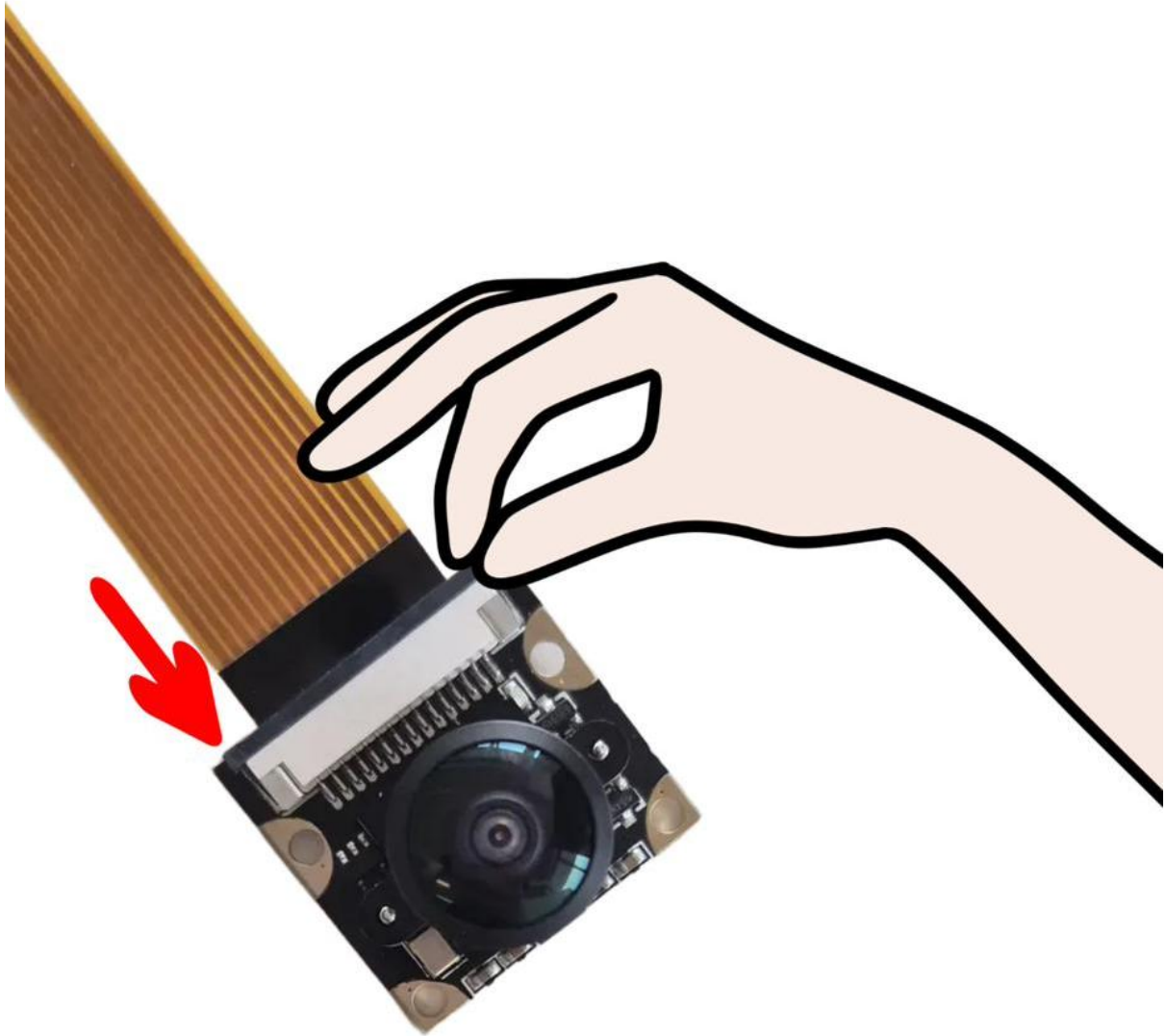


그림 6-8 카메라 조립 완료

카메라 케이블이 빠지지 않게 주의하며 클립을 다시 닫는다. '딸깍' 소리가 날 때까지 밀어 주면 된다. 소리가 나지 않는 경우도 있으나, 적당히 고정되었다는 느낌이 들면 충분하다.

단계 2 라즈베리파이5 준비 — SD 카드와 액티브 쿨러

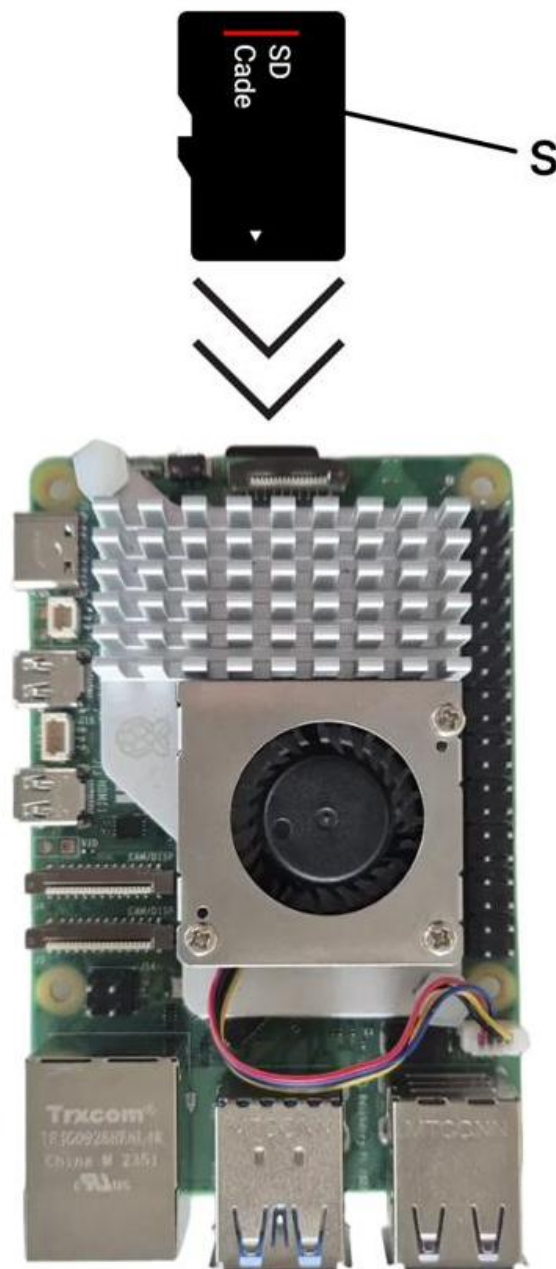


그림 6-9 라즈베리파이5 SD 카드 슬롯 위치

동봉된 SD 카드(S)를 라즈베리파이5의 SD 카드 슬롯에 밀어 넣는다. 슬롯 위치는 위 그림을 참고한다. SD 카드는 사진과 같이 뒷면(핀 반대면)이 쿨러와 같은 방향을 향하게 밀어 넣는다.

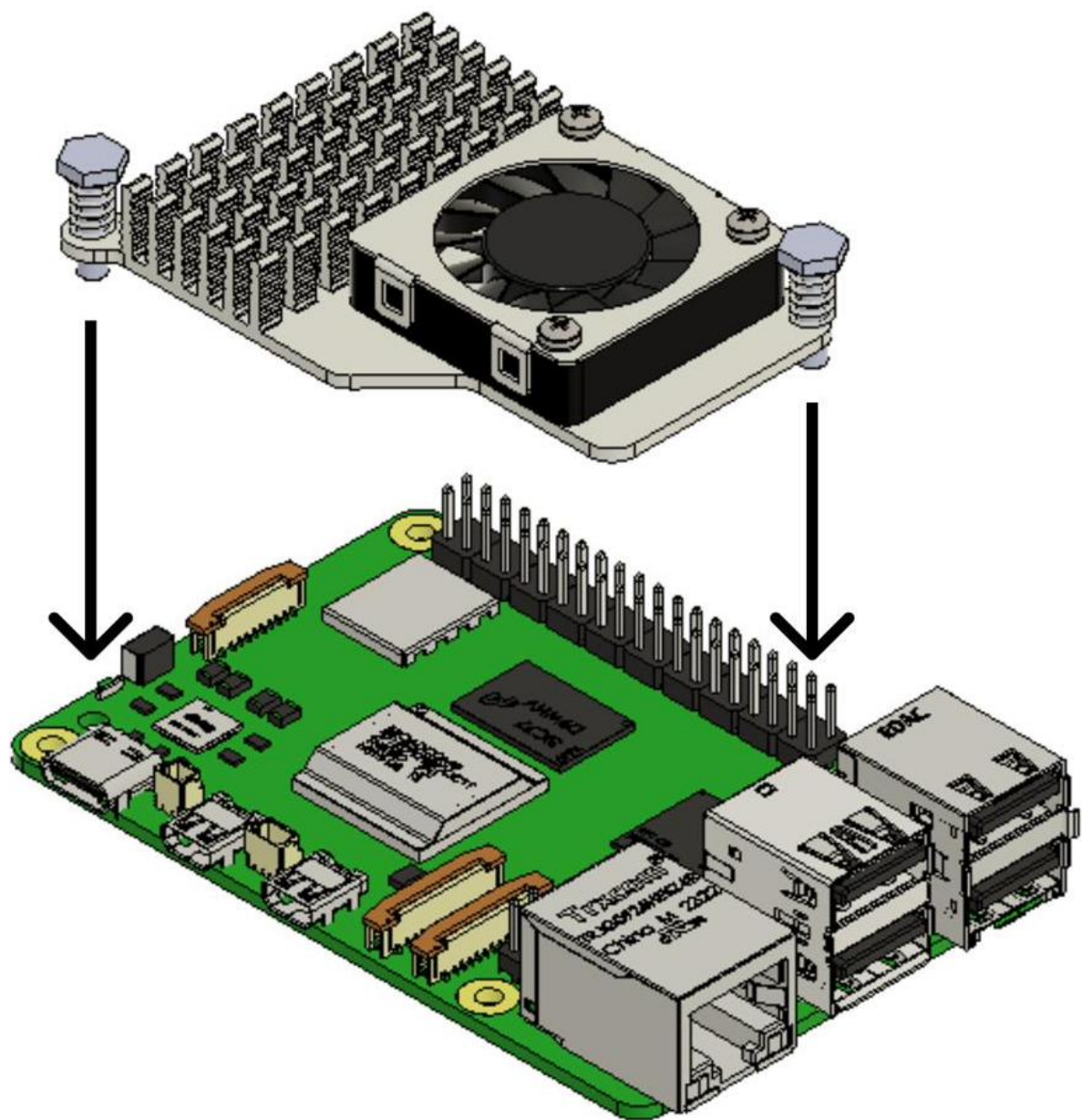


그림 6-10 라즈베리파이5와 액티브 쿨러

라즈베리파이 쿨러를 두 개의 핀 위치를 맞춰 수평이 되도록 눌러서 조립한다.

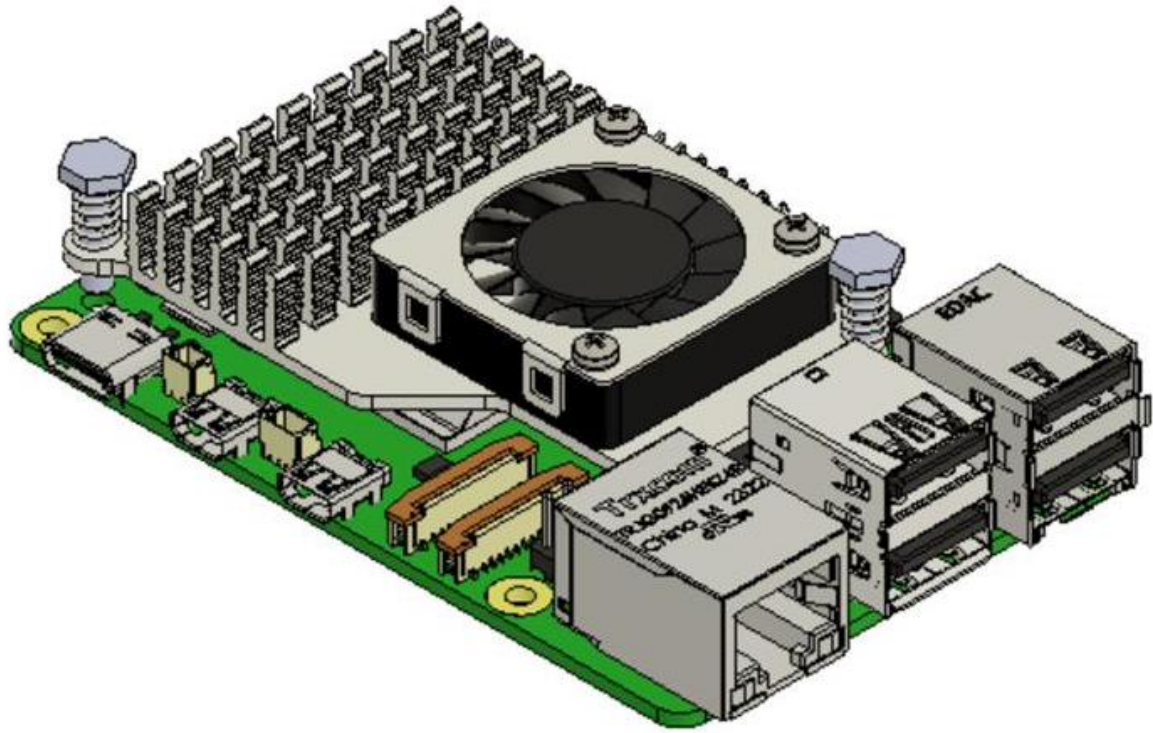


그림 6-11 쿨러 조립 완료

별도의 볼트 체결 없이 적당한 압력으로 밀어 넣으면 고정된다.



그림 6-12 쿨러 포트에 리드선 결선

쿨러의 리드선을 라즈베리파이5의 쿨러 포트에 연결하면 완성이다. 포트 위치는 위 사진의 표시를 참고한다.

단계 3 베이스 서보 장착

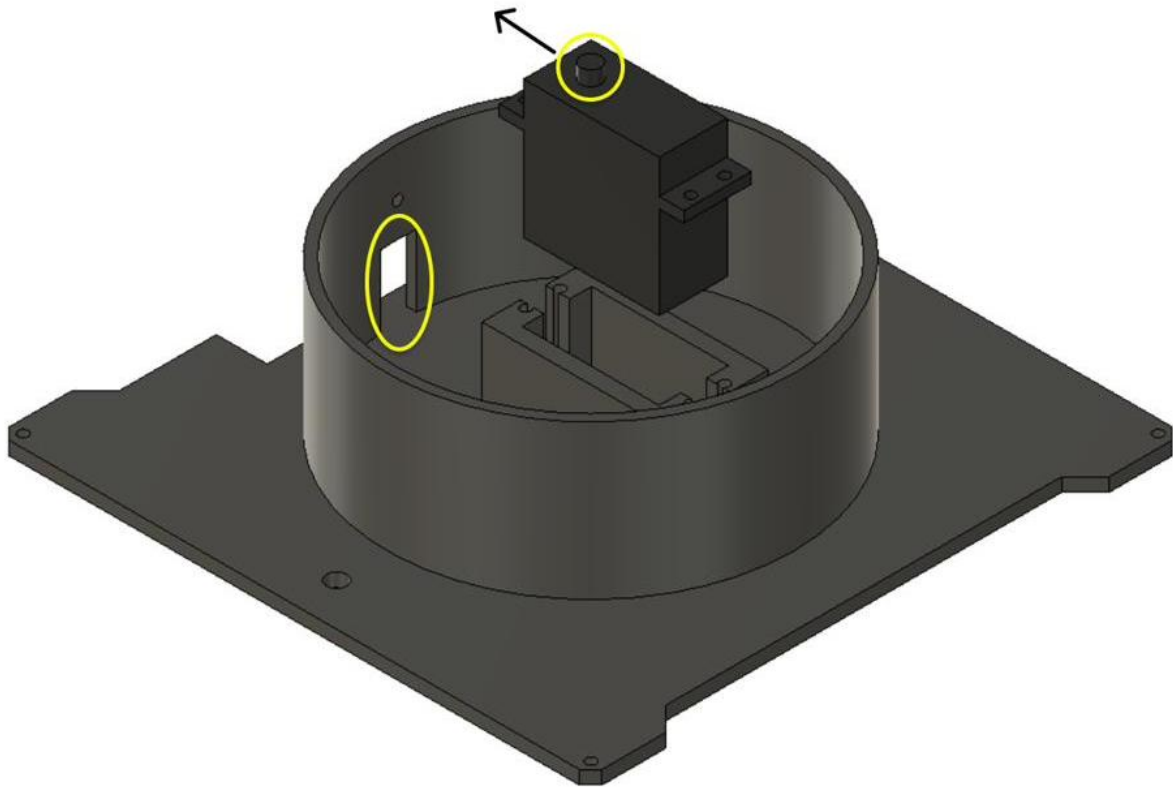


그림 6-13 서보 모터와 베이스 서보 하우징

서보 모터(U) 한 개를 베이스 서보 하우징(B)에 끼워 넣는다. 이때 서보의 축이 케이블 정리용 틈과 가까운 쪽에 놓이도록 조립한다.

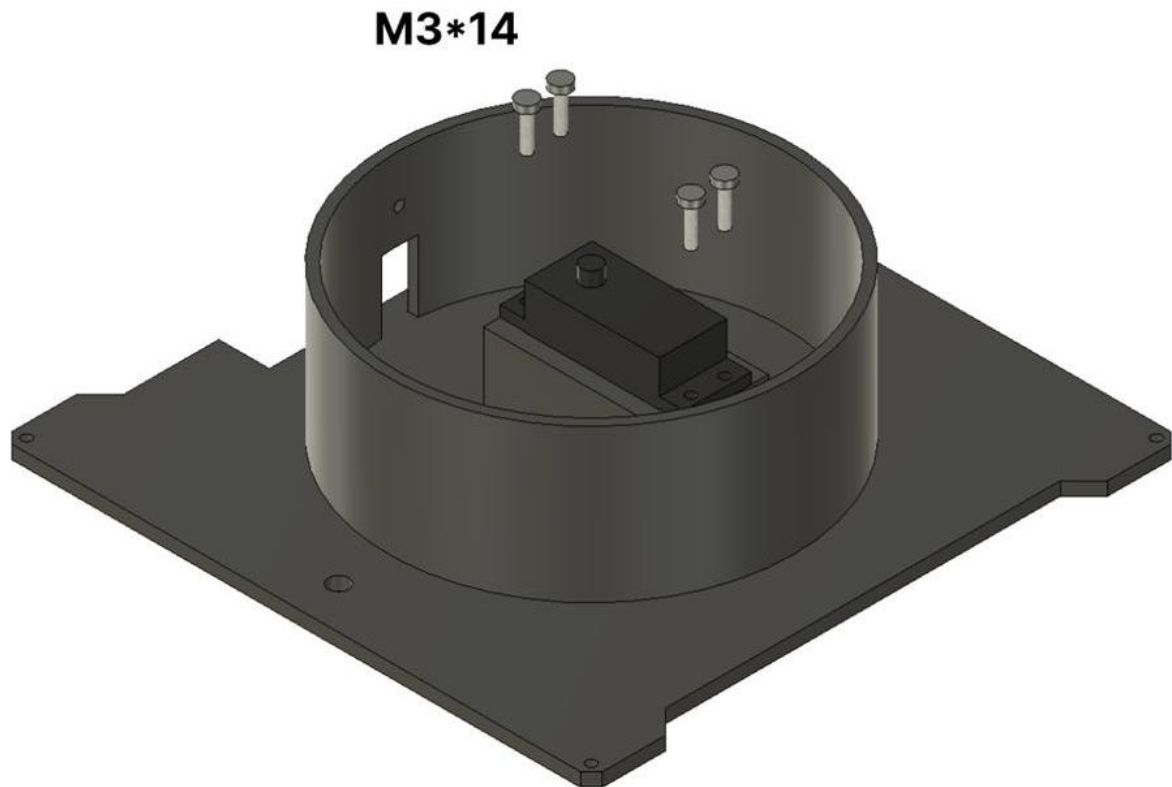


그림 6-14 베이스 서보 가체결

M3×14 볼트(검은색 나사)로 서보 모터를 고정하되, 절대로 볼트를 꽉 조이지 말고 **가체결**한다. 조립 후 서보 모터들을 분해하여 캘리브레이션 작업을 거쳐야 하기 때문이다.

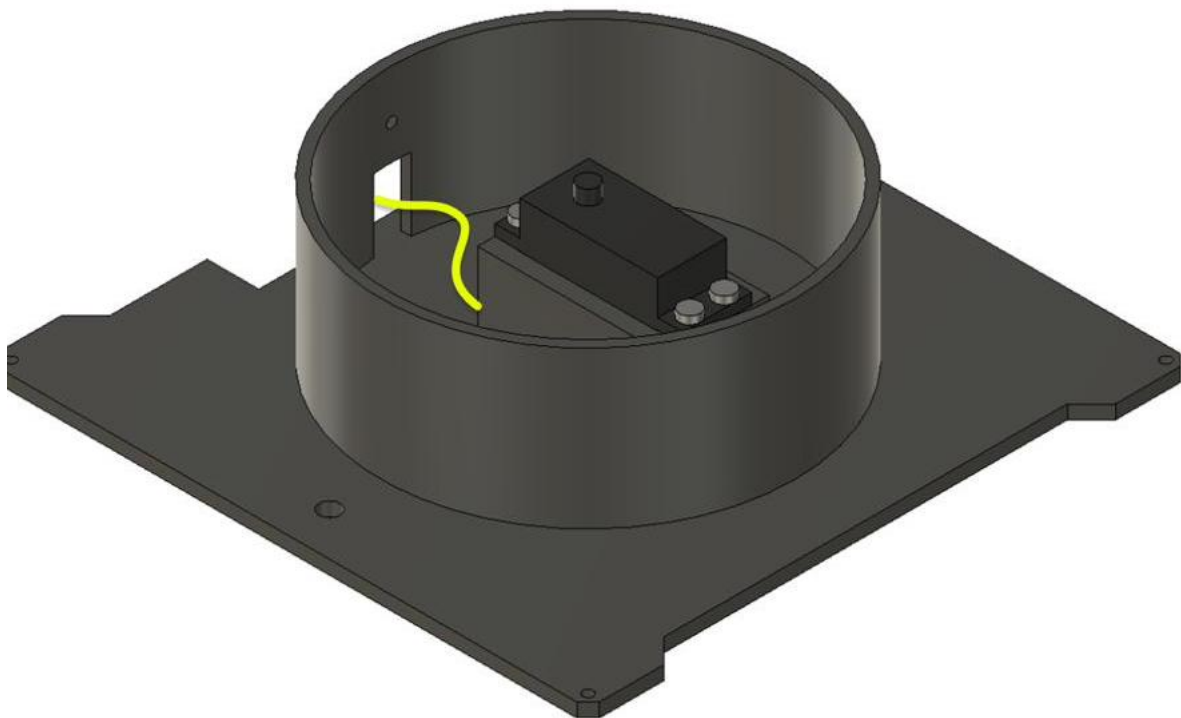


그림 6-15 선 정리

서보 모터 케이블을 선 정리용 틈으로 빼낸다.

단계 4 서보 채널 확인과 드라이버 보드 결선

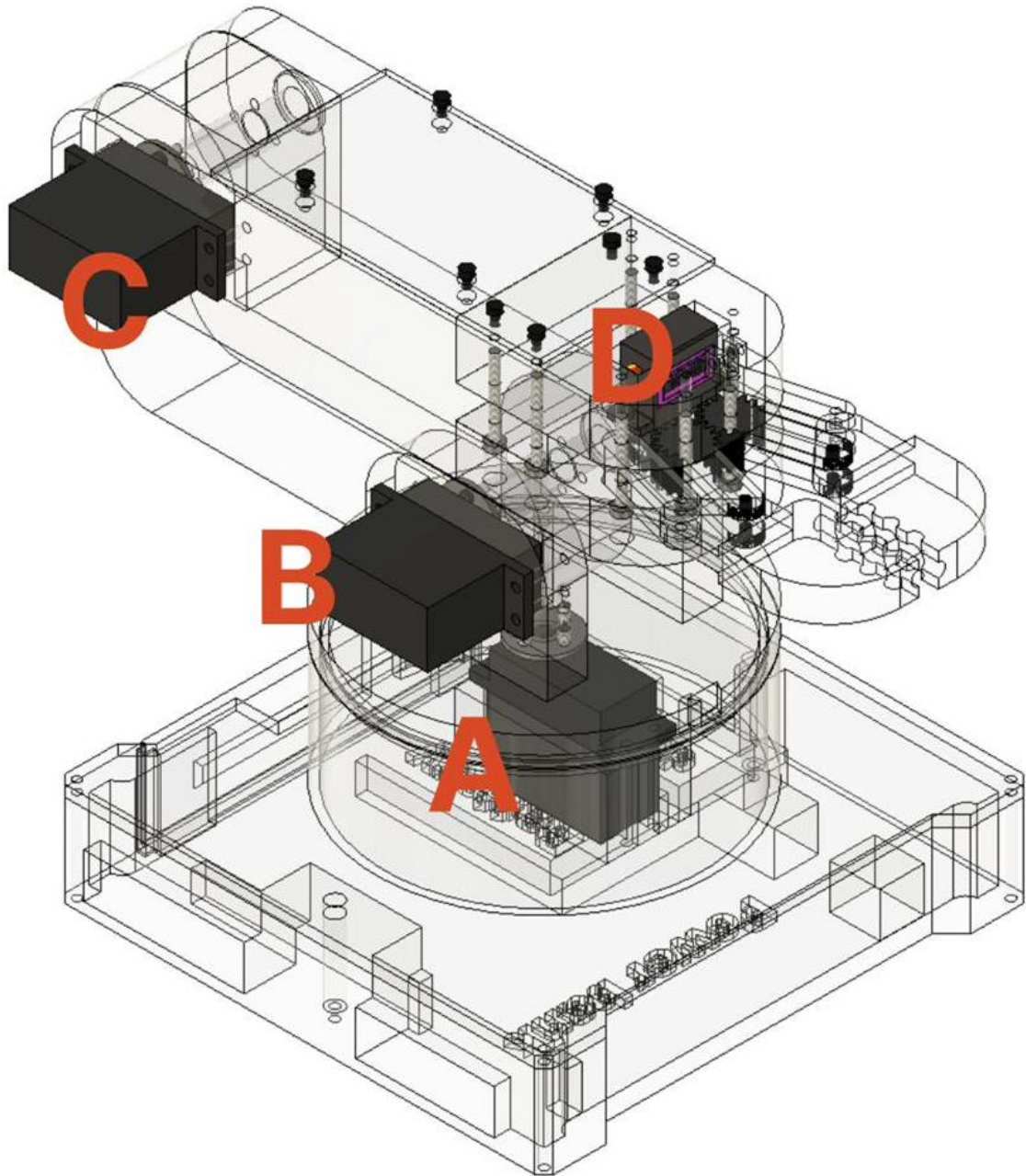


그림 6-16 각 서보 모터의 자리(채널)

DS35MG-180 서보 모터(U) 세 개는 A·B·C 자리에, MG-90S 서보 모터(V)는 D 자리에 위치하게 된다. 6.3절에서 설명했듯 여기서 A~D는 부품 라벨이 아니라 서보가 놓이는 자리(채널)의 이름이다.

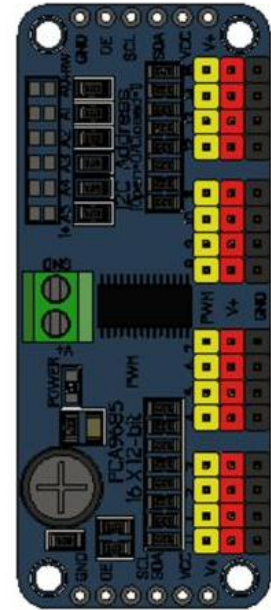
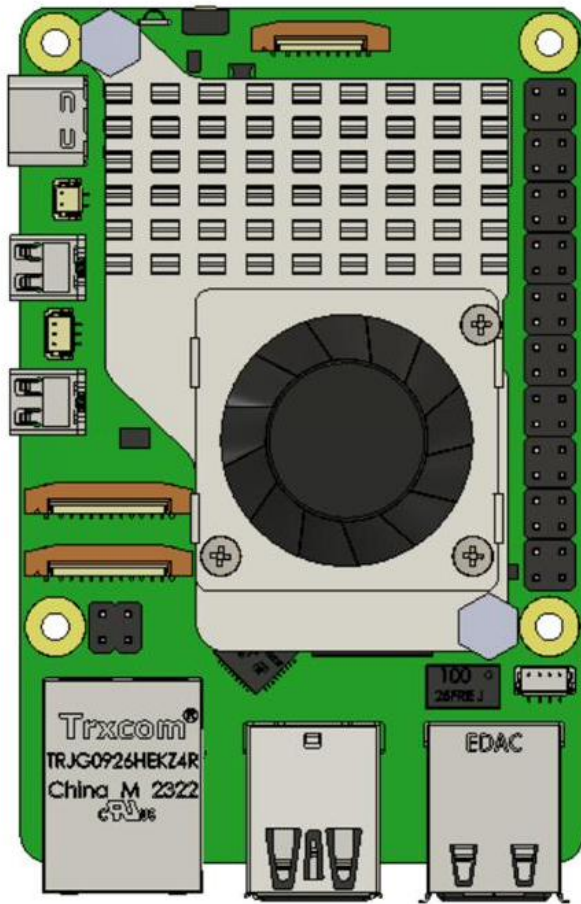
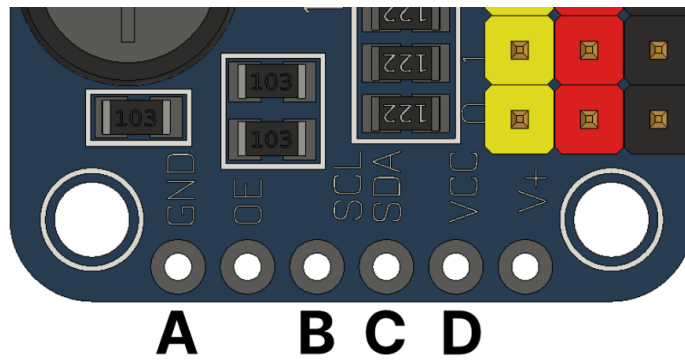


그림 6-18 라즈베리파이와 서보 드라이버 보드

모베드 때와는 달리, 라즈베리파이의 GPIO 전체를 쓰지 않고 일부 핀만 서보 드라이버 보드와 연결한다. 결선 위치는 다음 그림에서 확인하자.



A: GND
B: SCL
C: SDA
D: Vcc

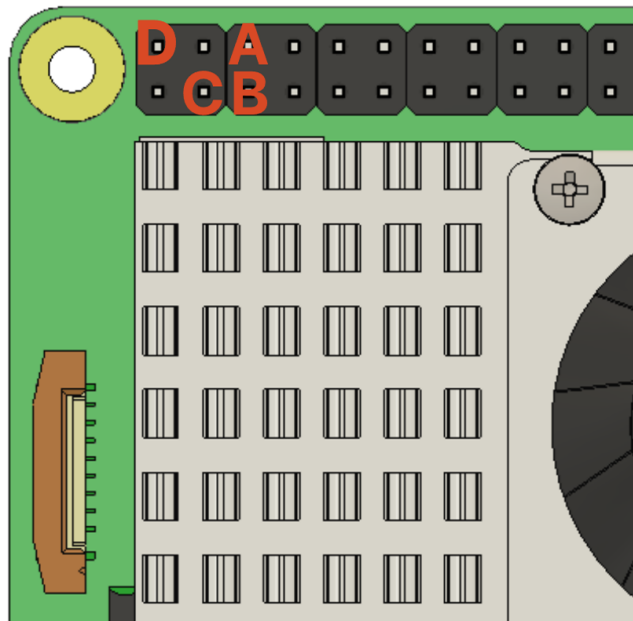


그림 6-19 라즈베리파이-드라이버 보드 결선 위치

리드선을 사용하여 정확한 위치에 결선한다. 실제 결선 모습은 아래 사진을 참고하자.

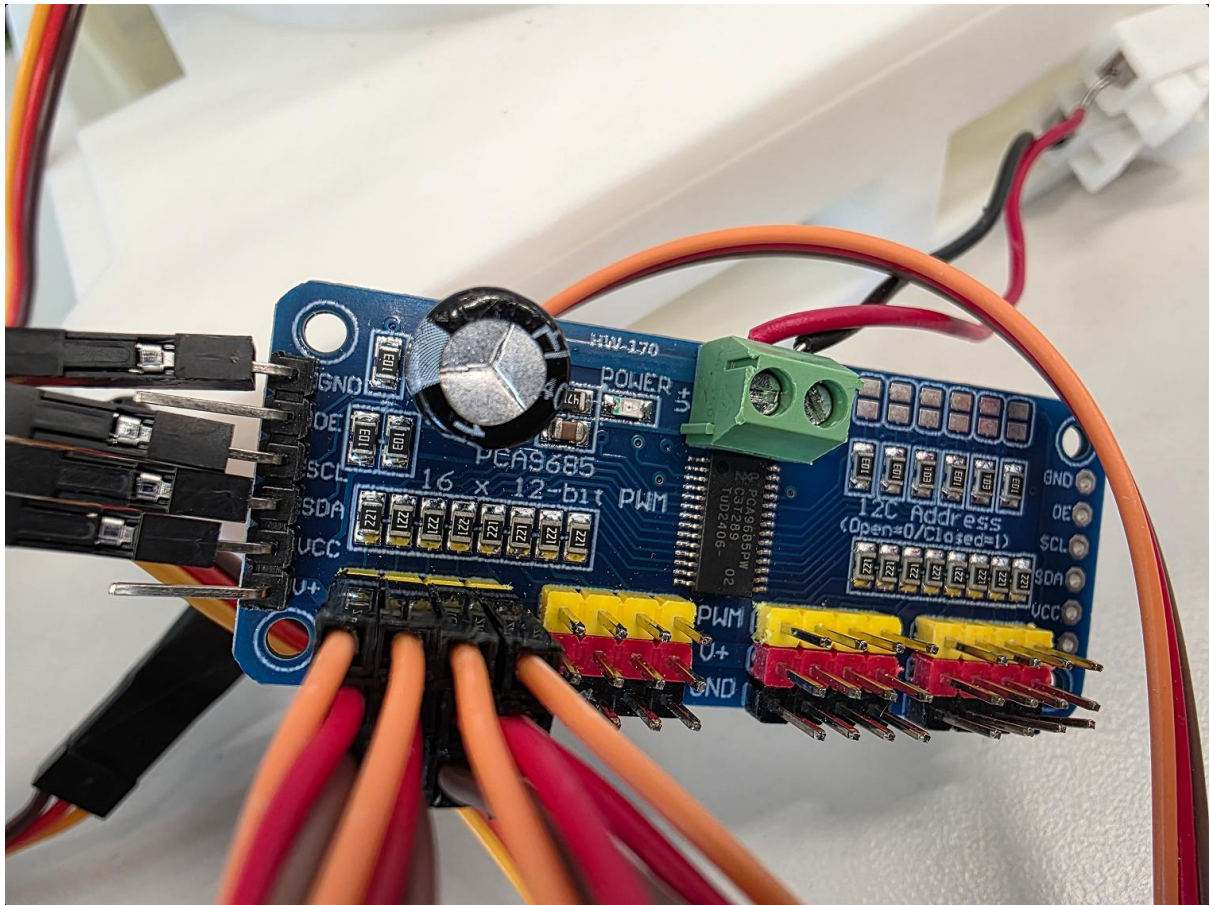


그림 6-20 결선이 완료된 실제 모습

단계 5 배터리 장착과 전원 결선



그림 6-21 리튬 이온 배터리와 홀더

리튬 이온 배터리(P)를 배터리 홀더(Q)에 넣는다.



그림 6-22 배터리가 홀더에 들어간 모습

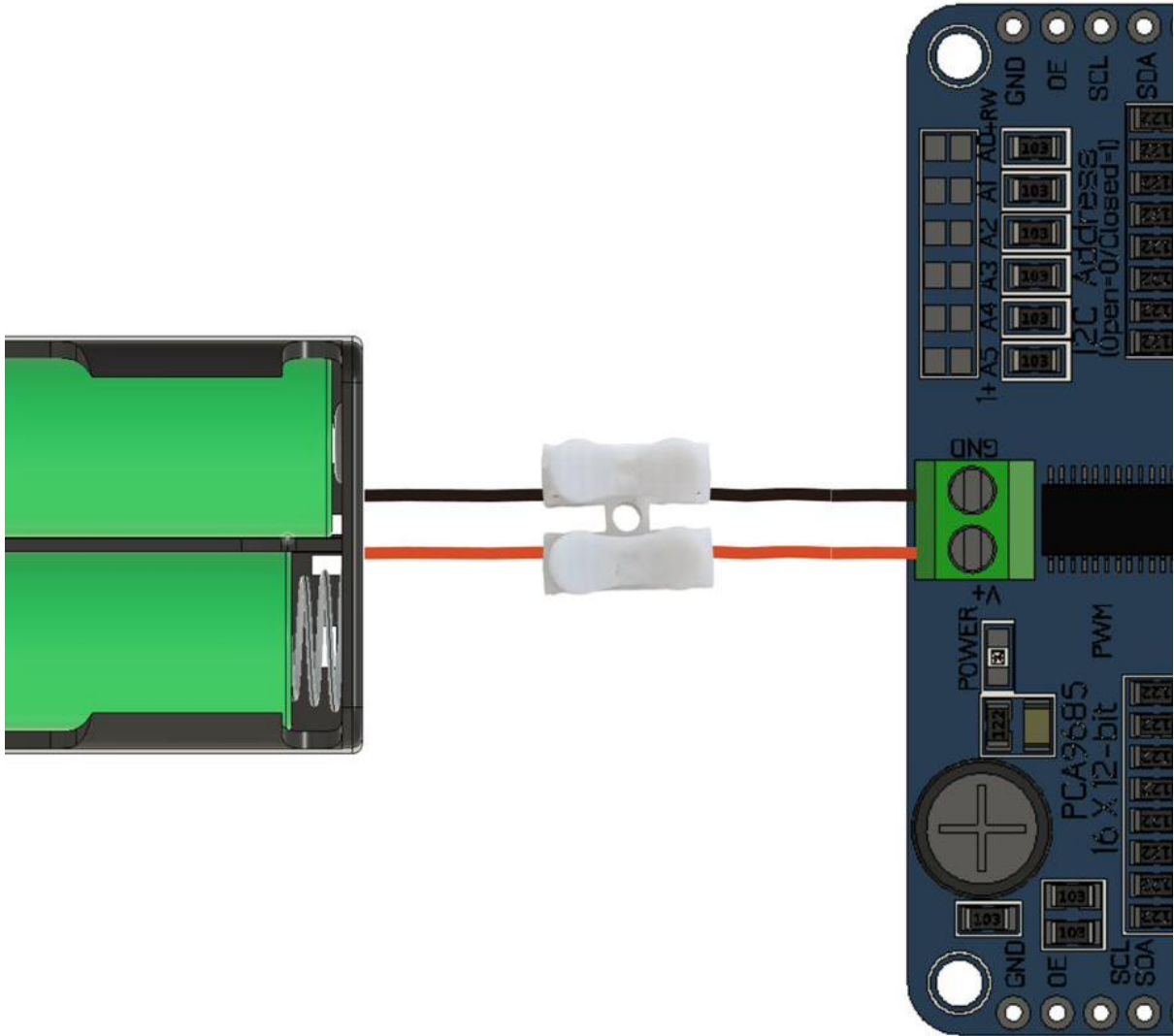


그림 6-23 서보 드라이버 보드에 전원 공급

배터리 홀더에서 나오는 리드선을 PWM 서보 드라이버 보드에 그림과 같이 연결한다. 검은 선은 GND(그라운드, 접지라고도 한다)에, 빨간 선은 V+(양극)에 연결한다. 두 선을 반대로 연결하면 보드와 서보가 손상될 수 있으므로, 연결하기 전에 선의 색을 반드시 다시 확인한다.

단계 6 솔더 서보 마운트 조립



그림 6-24 서보 모터(U) 전용 볼트와 플랜지 세트

지금부터 자주 사용하게 될 서보 모터 전용 볼트는 이후 **SMB**로 표기한다.

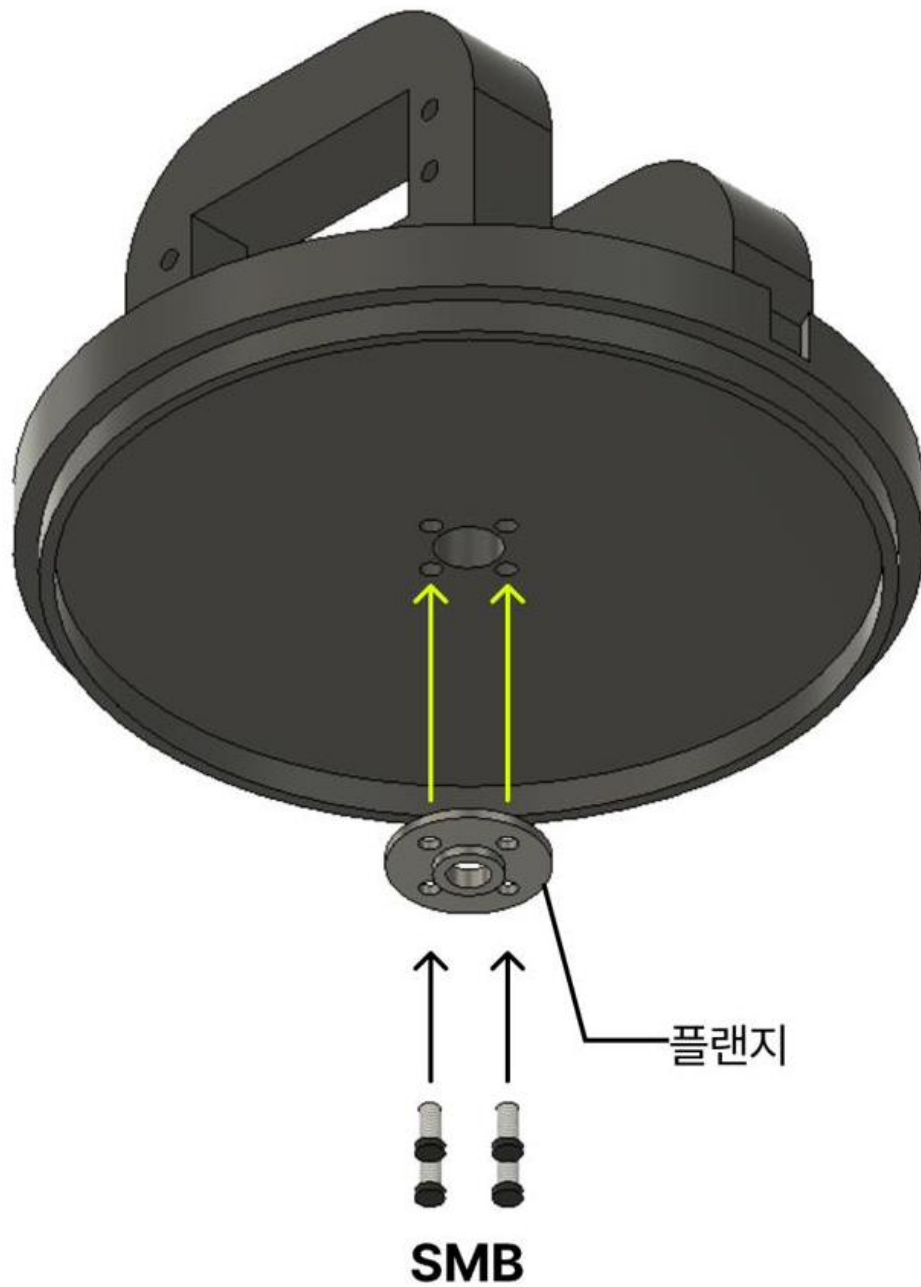


그림 6-25 솔더 서보 마운트 아래쪽 플랜지 체결

위 그림과 같이 플랜지와 솔더 서보 마운트(D)를 SMB로 체결한다.



그림 6-26 플랜지 체결 완료

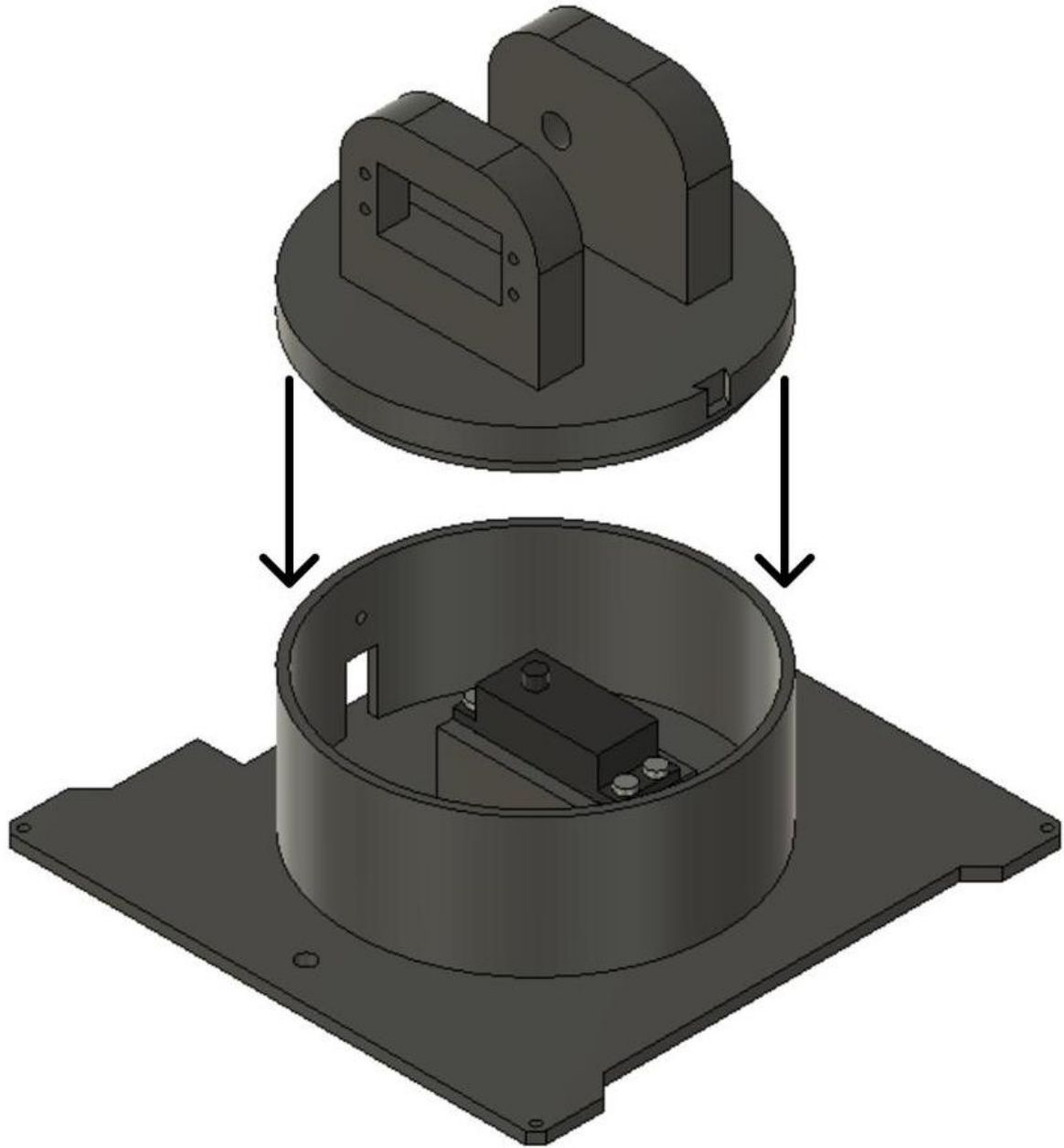


그림 6-27 베이스 서보 하우징과 솔더 서보 마운트 체결

완성된 솔더 서보 마운트의 하단 중앙이, 베이스 서보 하우징에 이미 조립되어 있는 서보 모터의 축과 일치하도록 주의하며 살짝 덮는다.

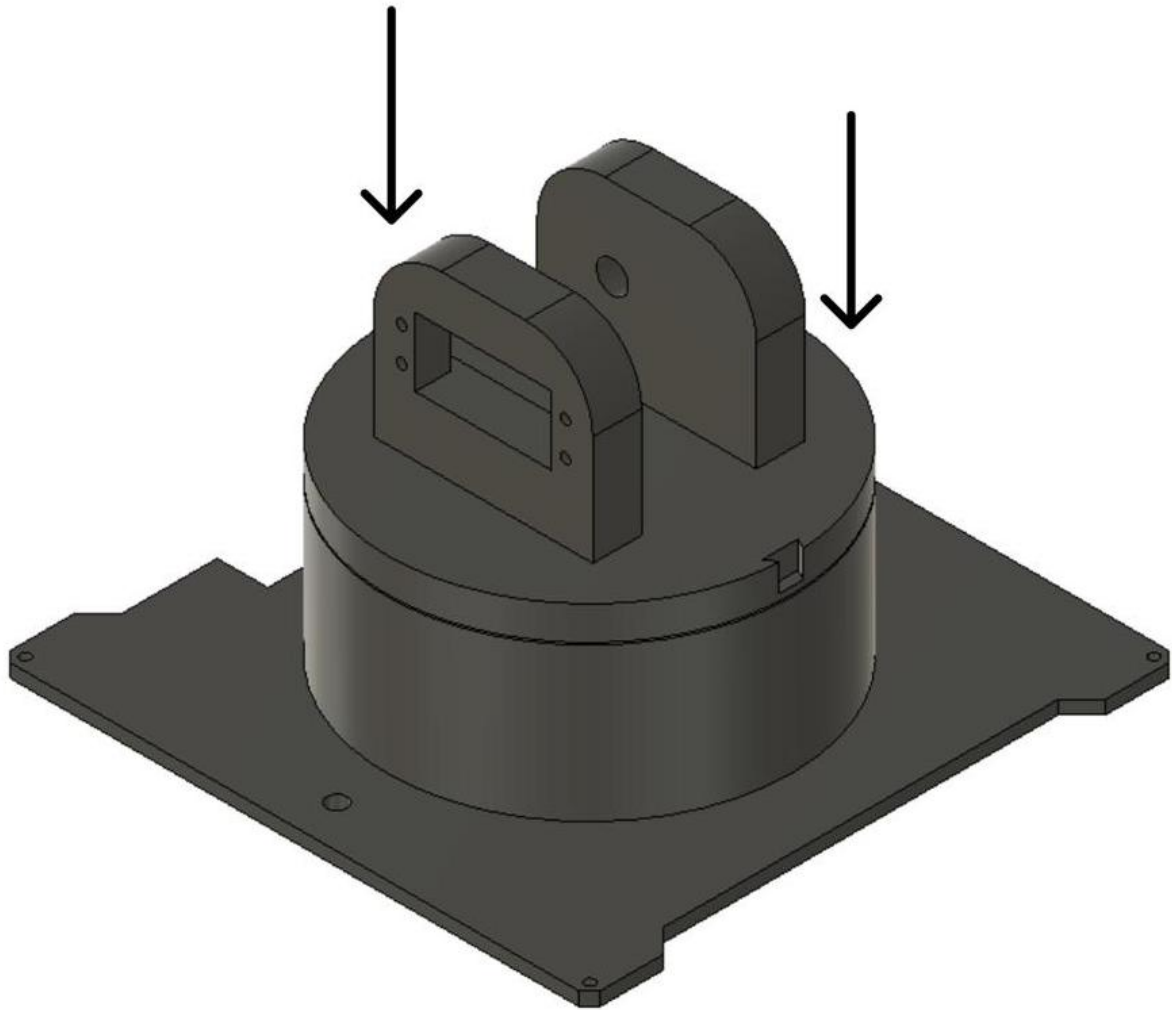


그림 6-28 양손 압력 방향

이때 아주 살짝 저항감이 느껴질 정도로만 압력을 주어 **가체결** 상태로 조립한다. 솔더 서보 마운트를 다시 열어 서보 모터를 꺼낸 뒤 캘리브레이션 과정을 거쳐야 하기 때문이다. 나중에 모든 캘리브레이션 작업이 끝나고 최종 조립할 때는 힘껏 눌러 조립하되, 양손에 균등한 압력을 주어 수평을 유지하며 서보 모터 축에 손상이 가지 않도록 주의하자.

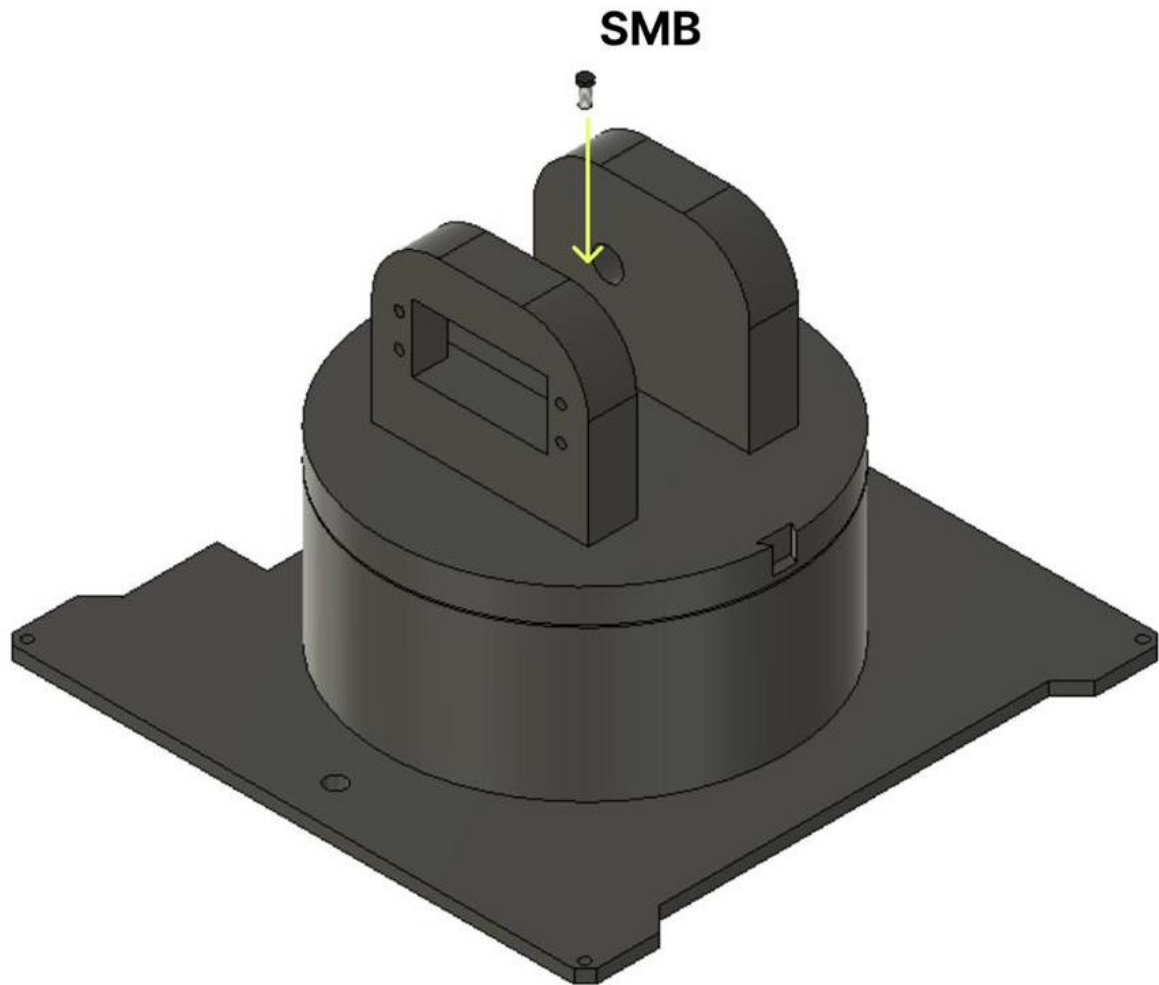


그림 6-29 SMB 체결 위치

SMB를 위 그림과 같이 솔더 서보 마운트 중앙의 구멍에 넣어 가체결한다.

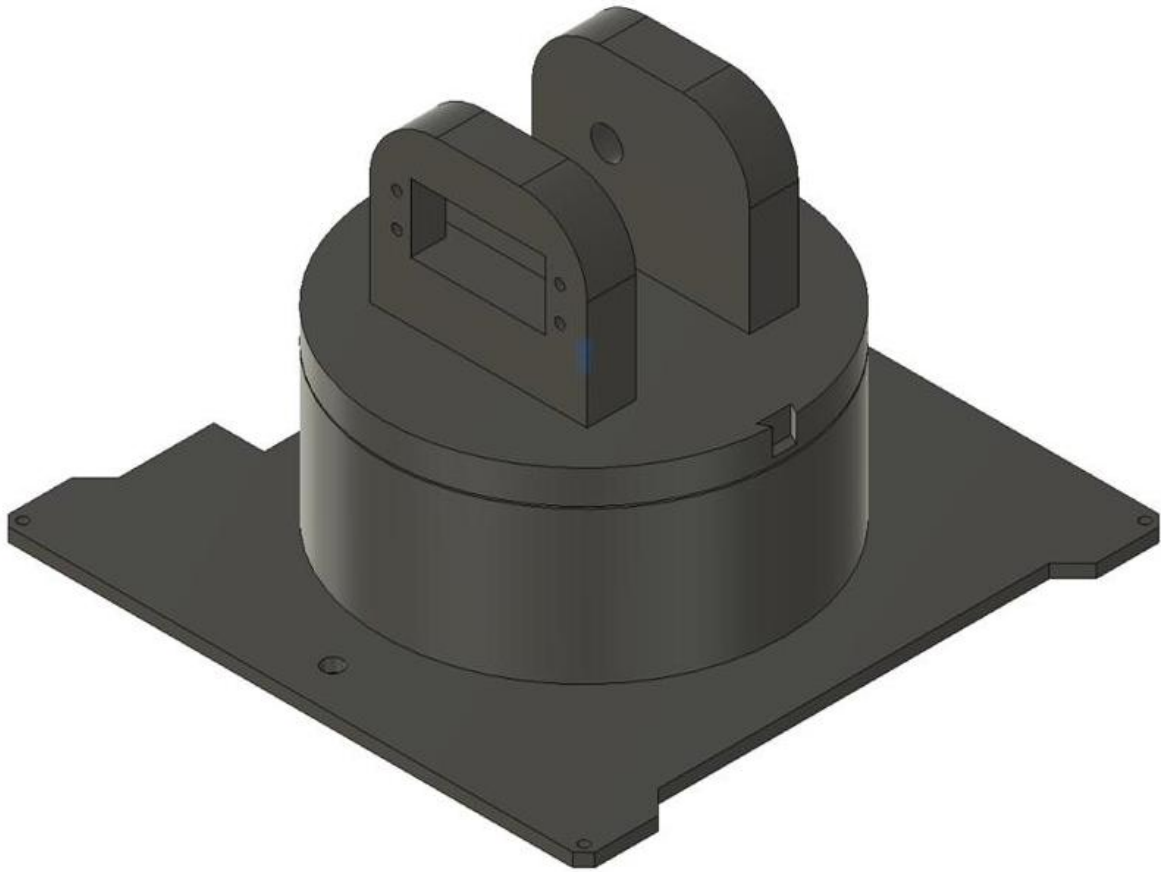


그림 6-30 솔더 서보 마운트 조립 완료

단계 7 어퍼 암 조립

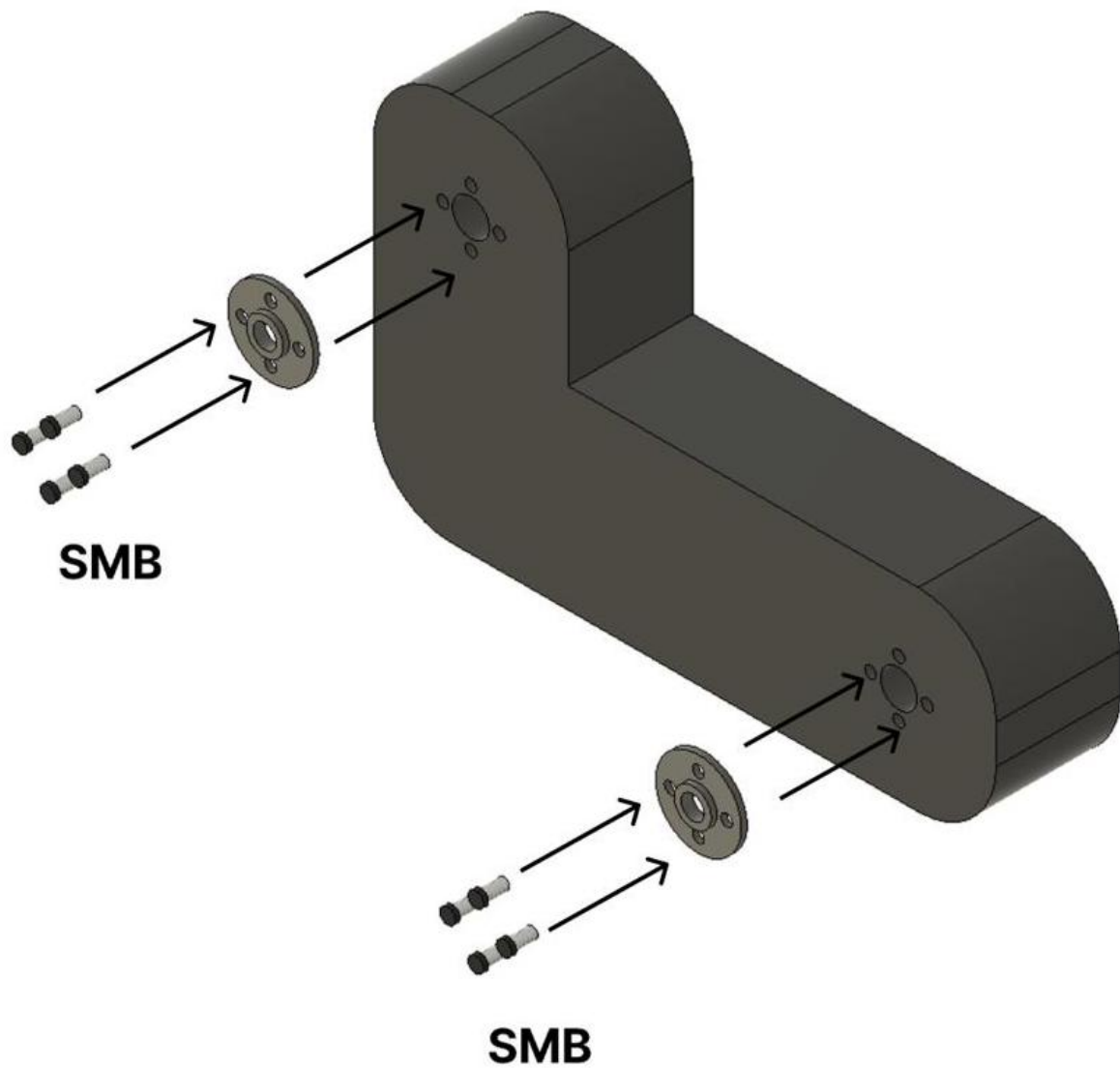


그림 6-31 어퍼 암과 서보 모터 플랜지

어퍼 암(E)에 그림과 같이 플랜지와 SMB 네 개씩을 체결한다. 이 부분은 다시 분해할 일이 없으므로 적당한 저항감이 느껴질 때까지 견고하게 조립하면 된다.



그림 6-32 플랜지 체결 완료

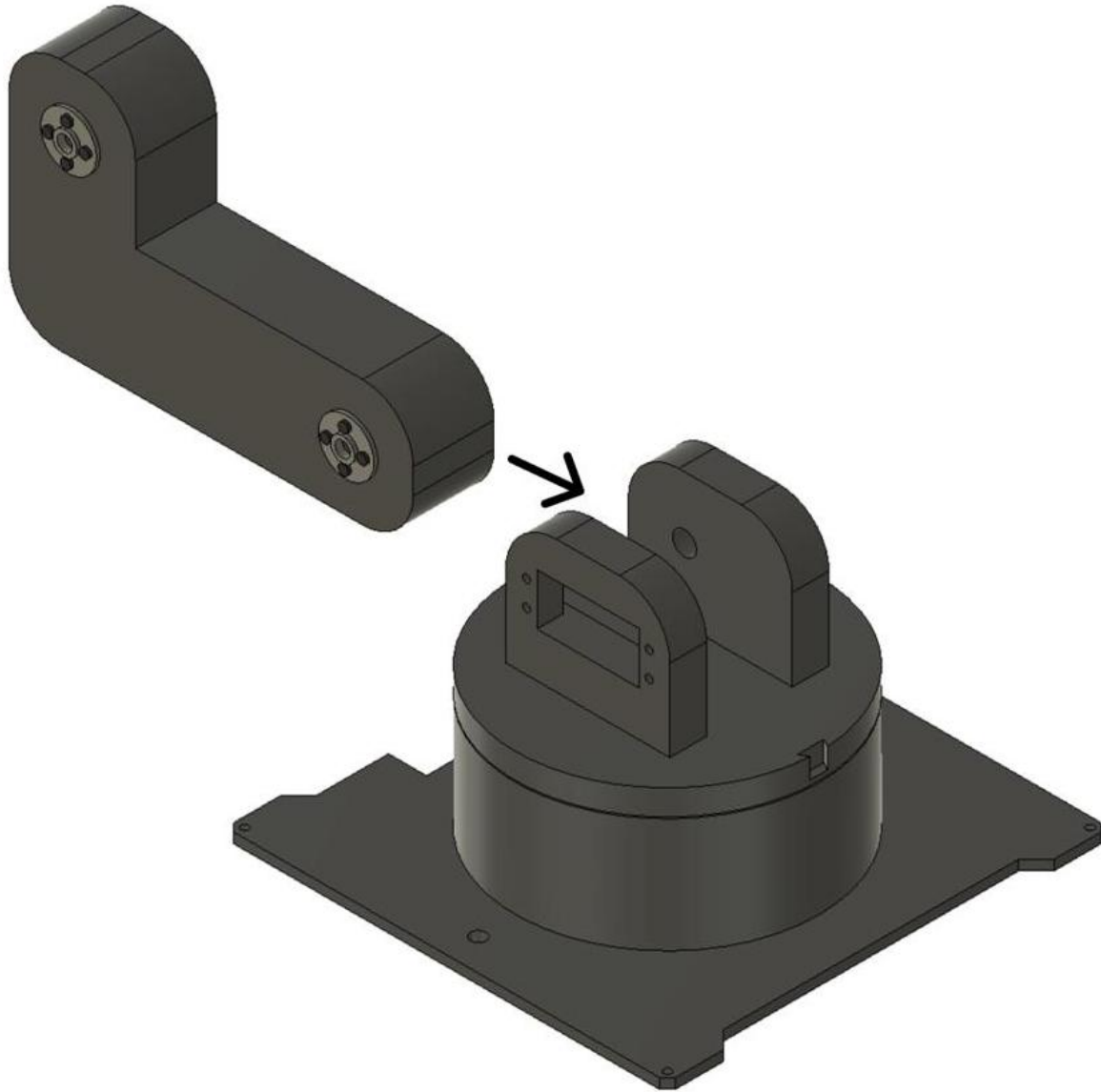


그림 6-33 어퍼 암과 베이스 파트의 결합

그림과 같은 방향으로 어퍼 암을 베이스 서보 하우징 위에 살포시 놓는다. 숄더 서보 마운트에는 플랜지가 지나갈 공간이 확보되어 있다(다음 그림 참고).

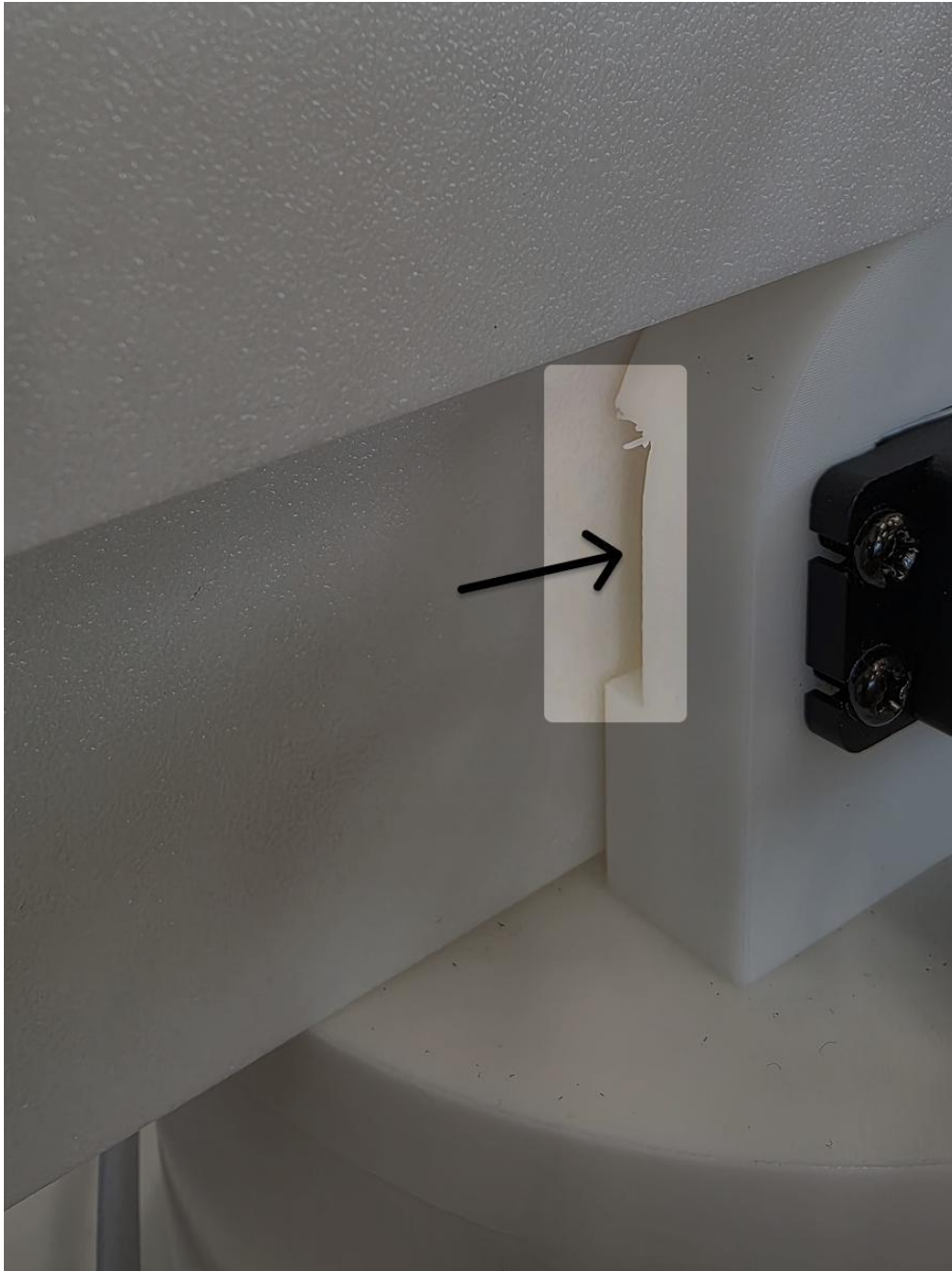


그림 6-34 솔더 서보 마운트 틈

그림에 보이는 틈으로 플랜지가 지나간다.

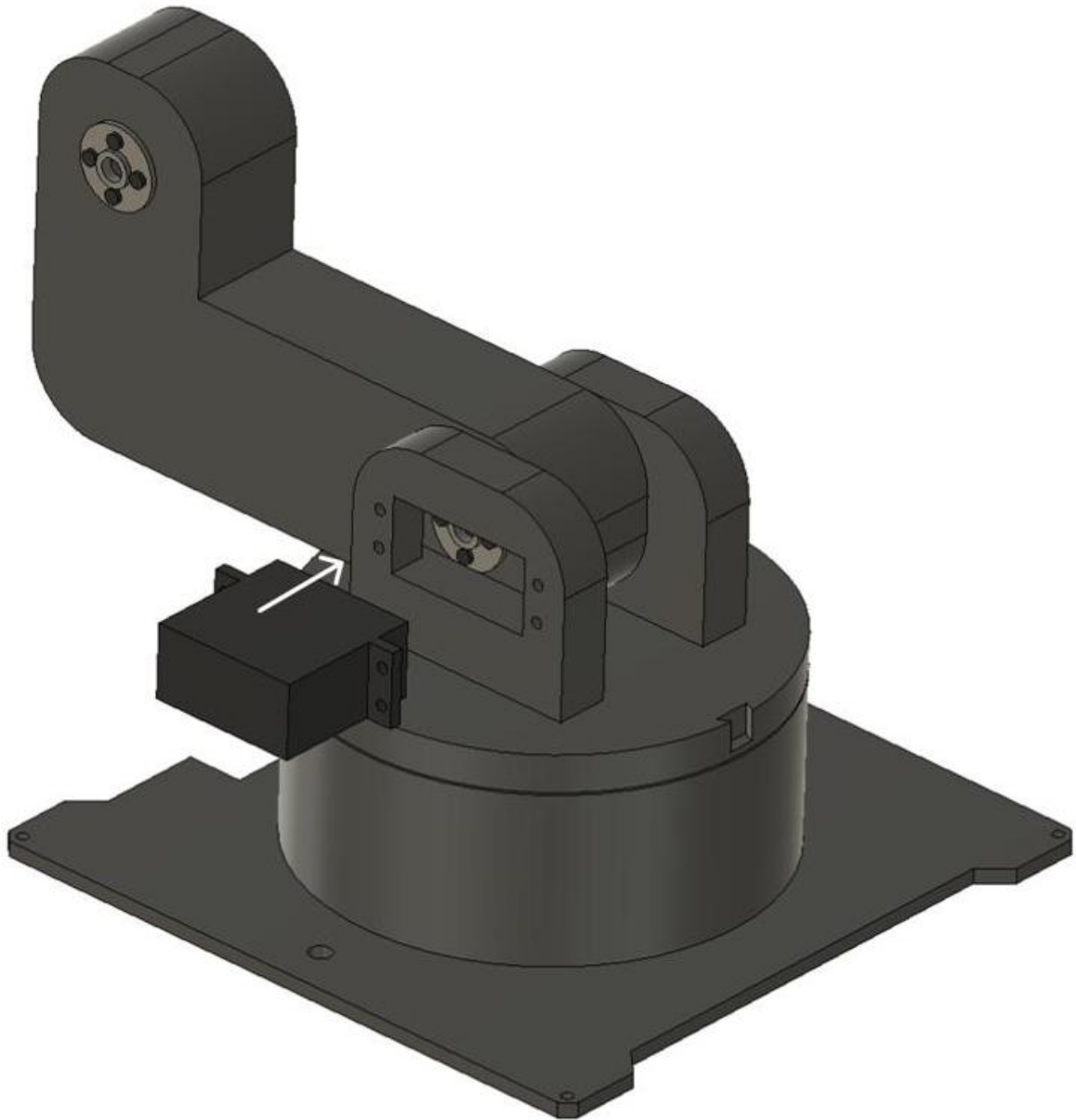


그림 6-35 솔더 서보 축 방향

두 번째 서보(U)를 플랜지 방향으로 밀어 넣는다. 서보 축의 위치는 그림에서 보이는 것처럼 어퍼 암이 돌출된 방향에 가까워야 한다.

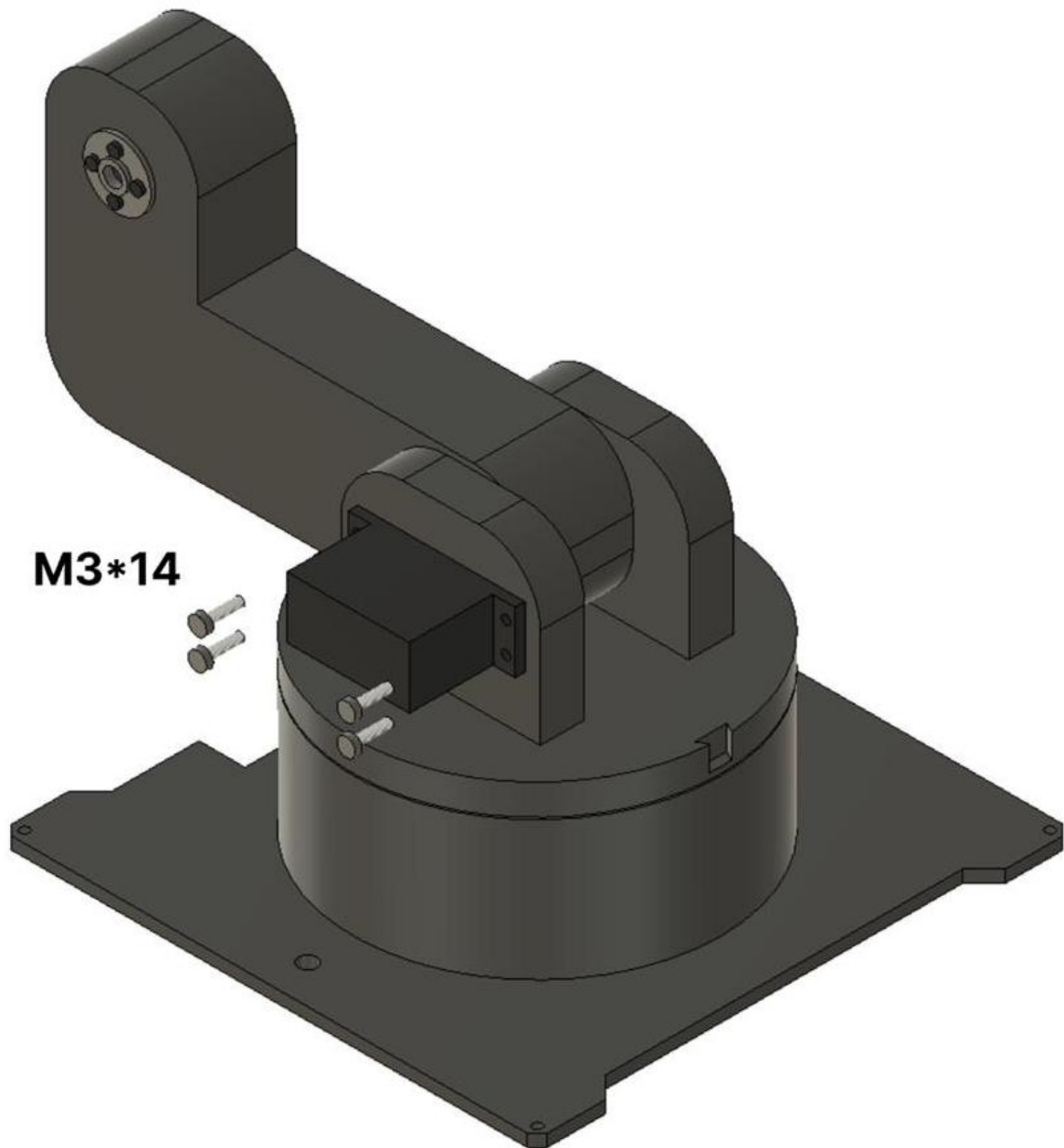


그림 6-36 솔더 서보 가체결

M3×14 볼트(검은색 나사) 네 개로 서보를 고정하되, 이후 분해하여 캘리브레이션 작업을 거친 후 재조립할 예정이므로 살짝 **가체결**만 해 둔다.

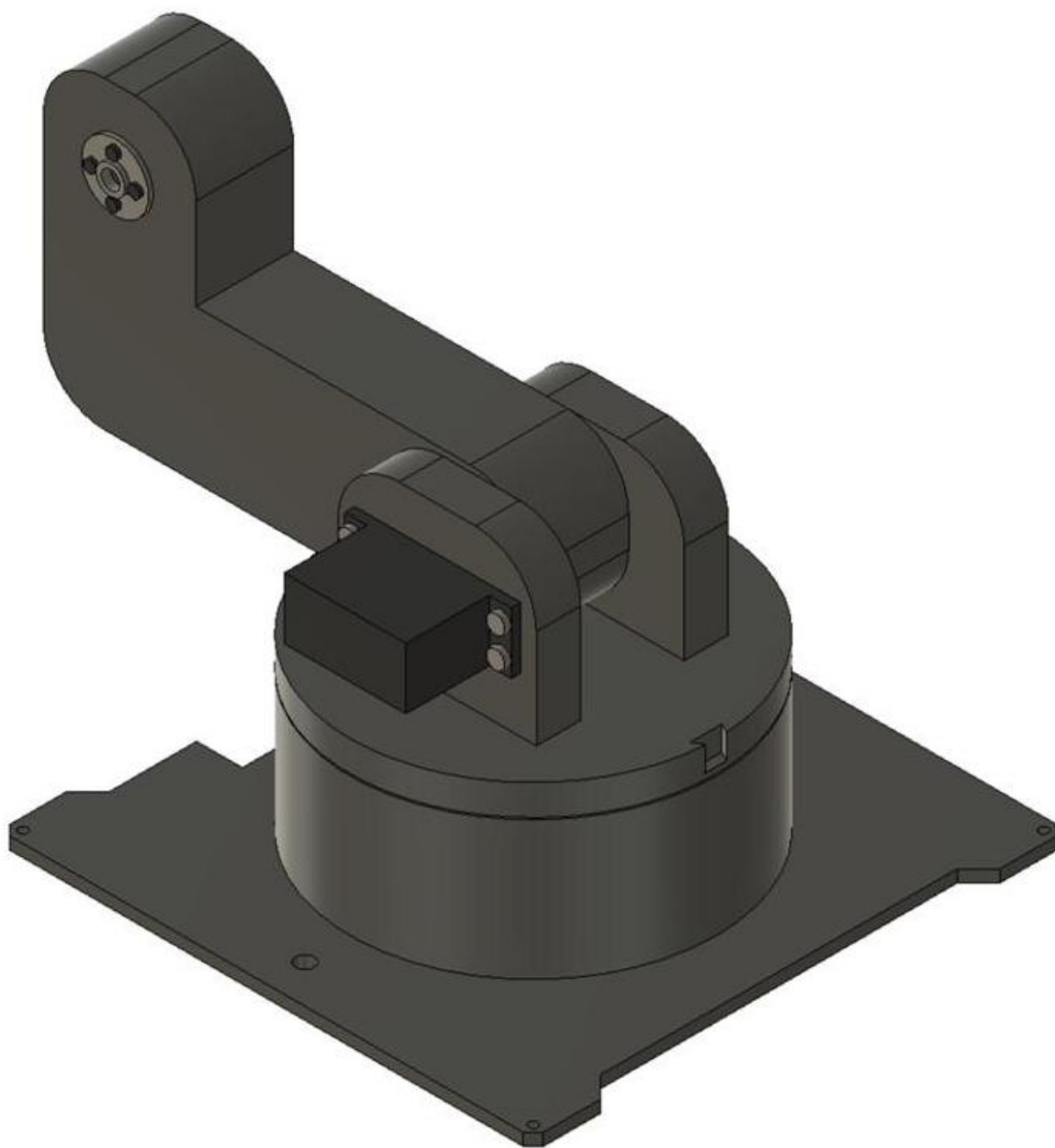


그림 6-37 어퍼 암 조립 완료

단계 8 그립퍼 서보와 아이들 기어

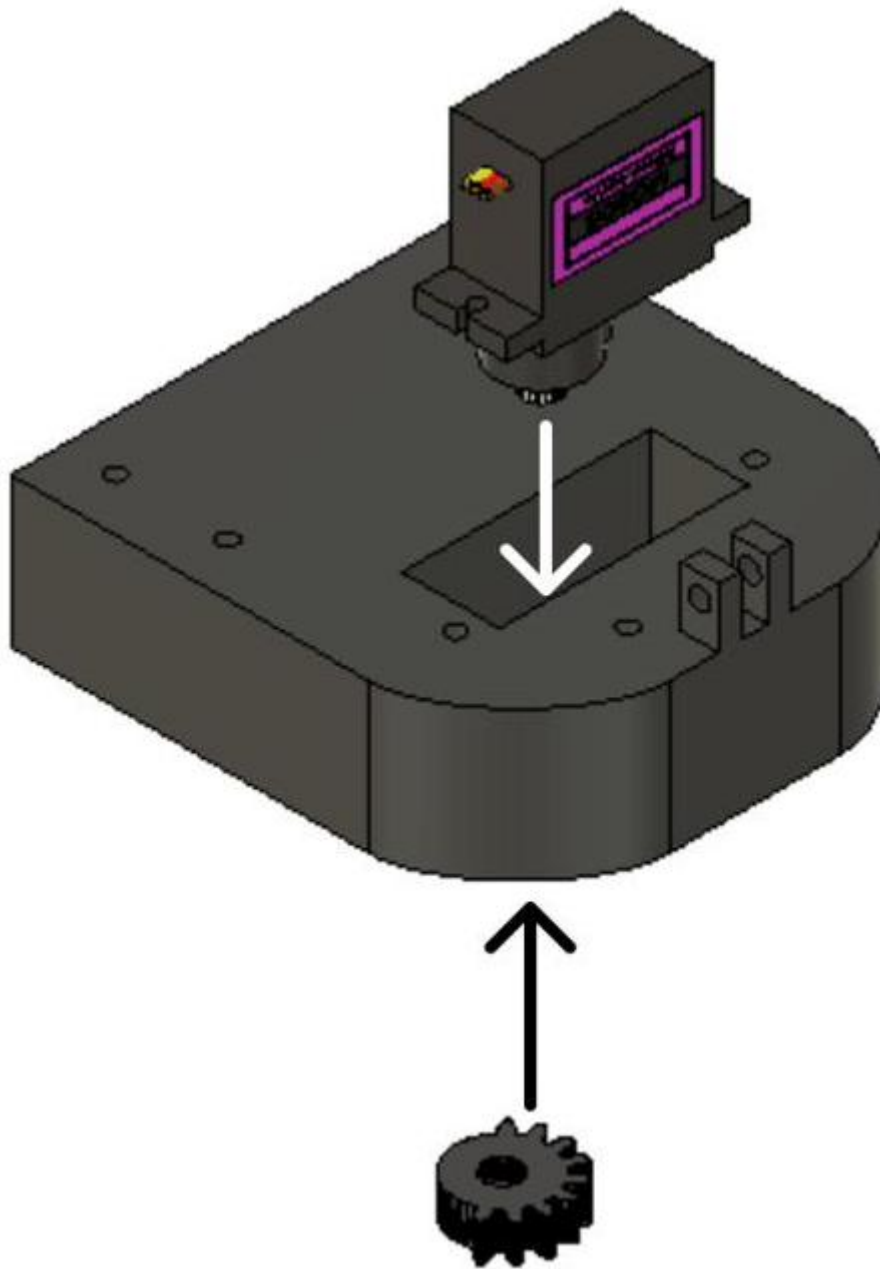


그림 6-38 그립퍼 홀더와 서보

그립퍼 홀더 탭(H), 그립퍼용 서보 모터인 MG-90S 서보 모터(V), 그리고 아이들 기어(I)를 그림과 같이 배치한다.

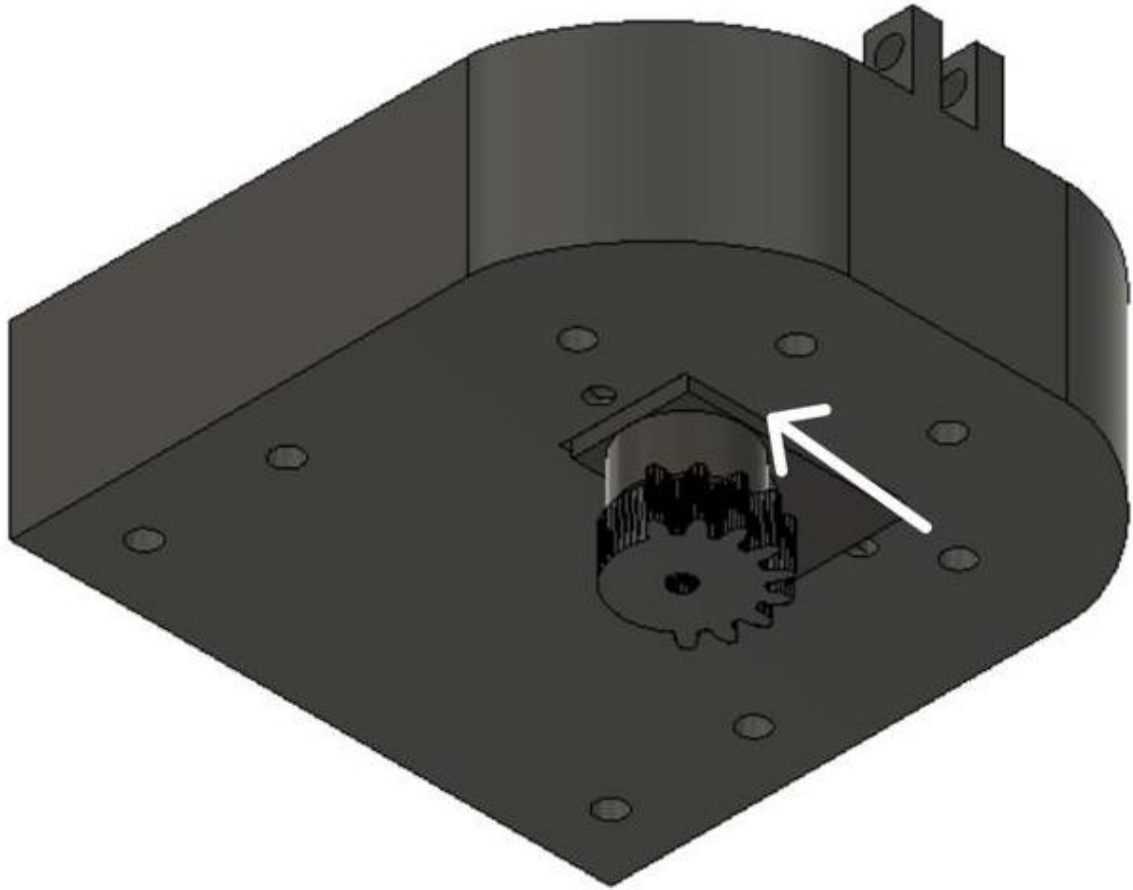


그림 6-39 그리퍼 홀더 아래에서 바라본 모습

서보는 위에서 아래로, 아이들 기어는 아래에서 위로, 그리퍼 홀더를 사이에 두고 조립한다. 이때 서보 모터 축의 위치는 그림을 참고한다.

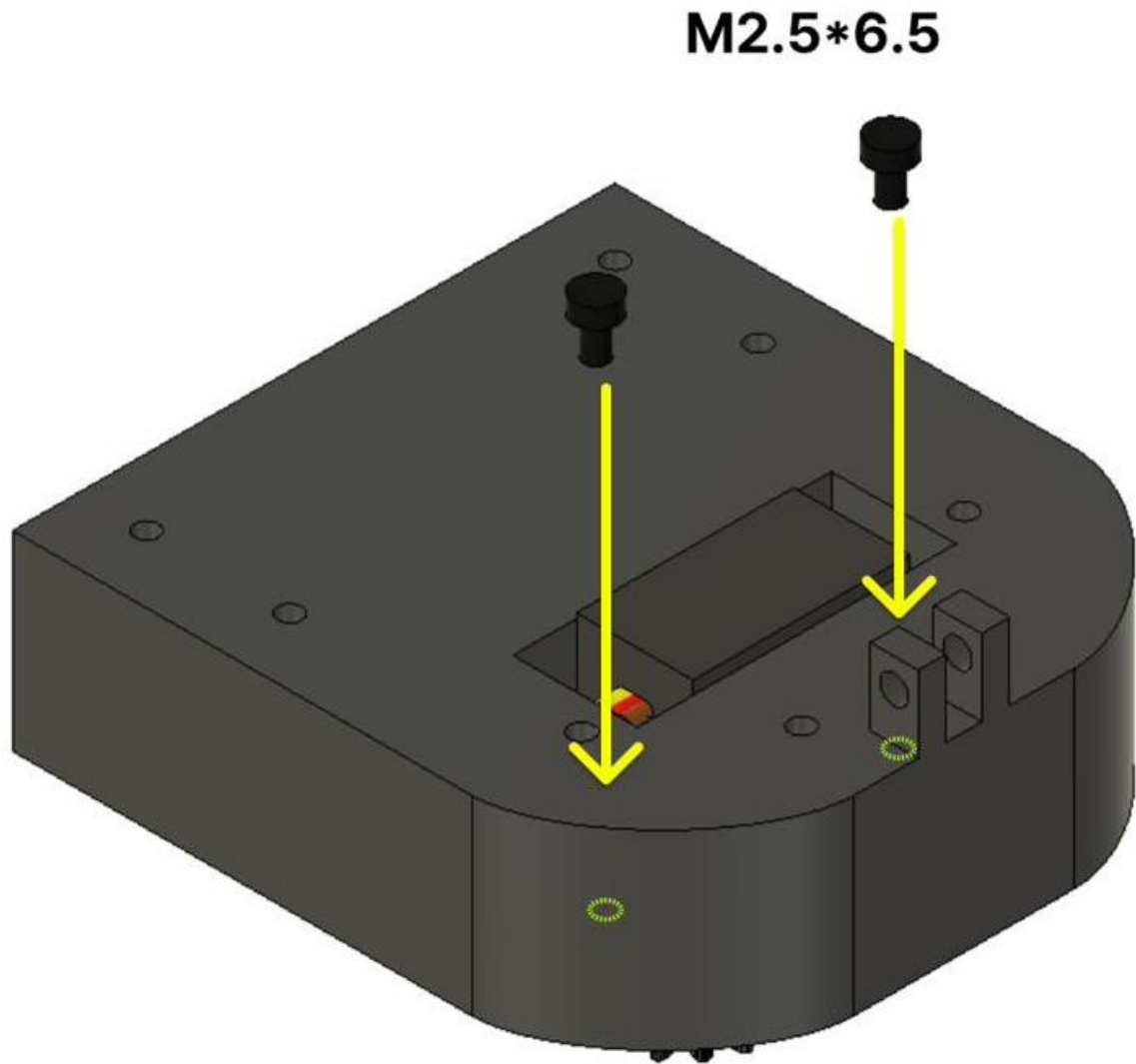


그림 6-40 그리퍼 서보 고정

M2.5×6.5 볼트(짧은 검은색 나사) 두 개를 사용하여 서보 모터를 제자리에 고정한다. 그리퍼용 서보 모터 역시 캘리브레이션 과정을 거칠 예정이므로 **가체결만** 해 둔다.

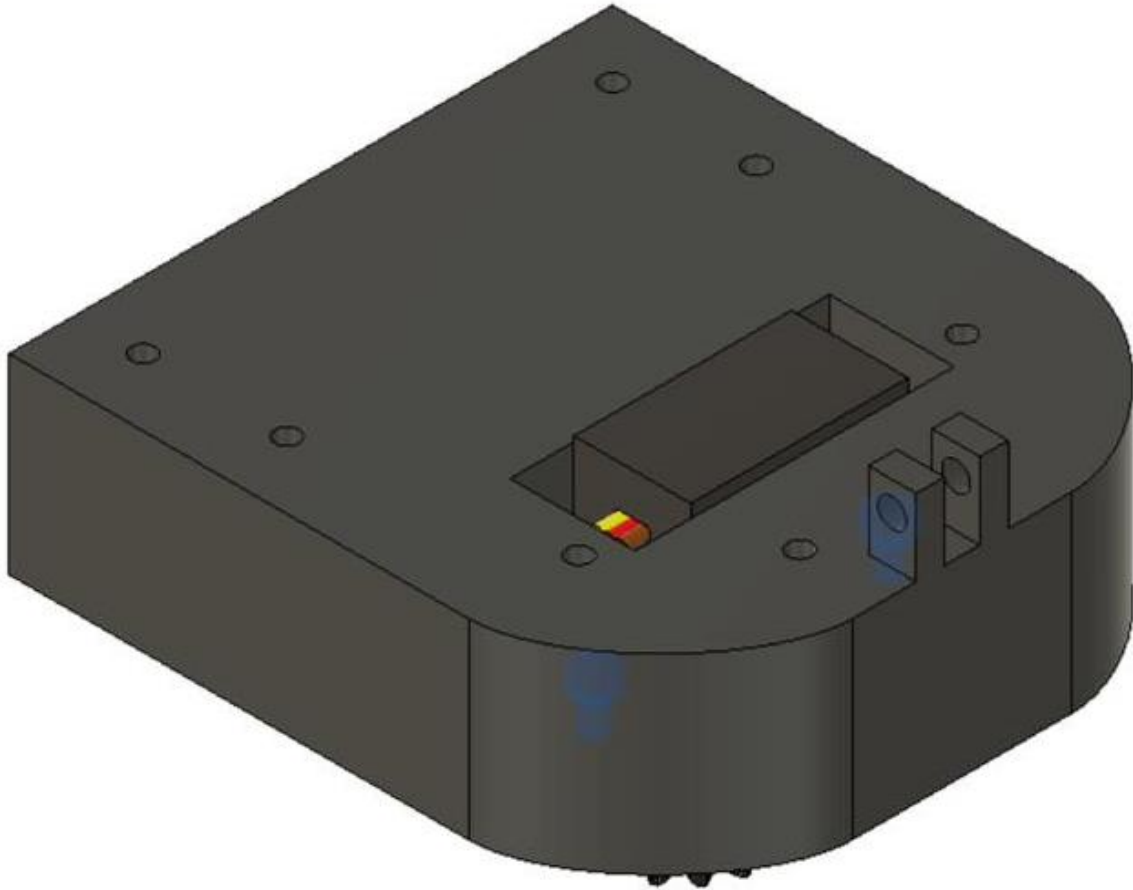


그림 6-41 볼트 깊이

볼트가 그림과 같이 깊숙하게 들어가야 하므로 얇은 드라이버로 작업한다.

단계 9 그립퍼 링크 조립

그립퍼는 서보 모터 한 개의 회전을 링크와 기어로 나누어 전달해, 양쪽 집게가 동시에 대칭으로 여닫히는 구조다. 그래서 이번 단계에서는 링크를 좌우 대칭으로 배치하는 것이 무엇보다 중요하다.

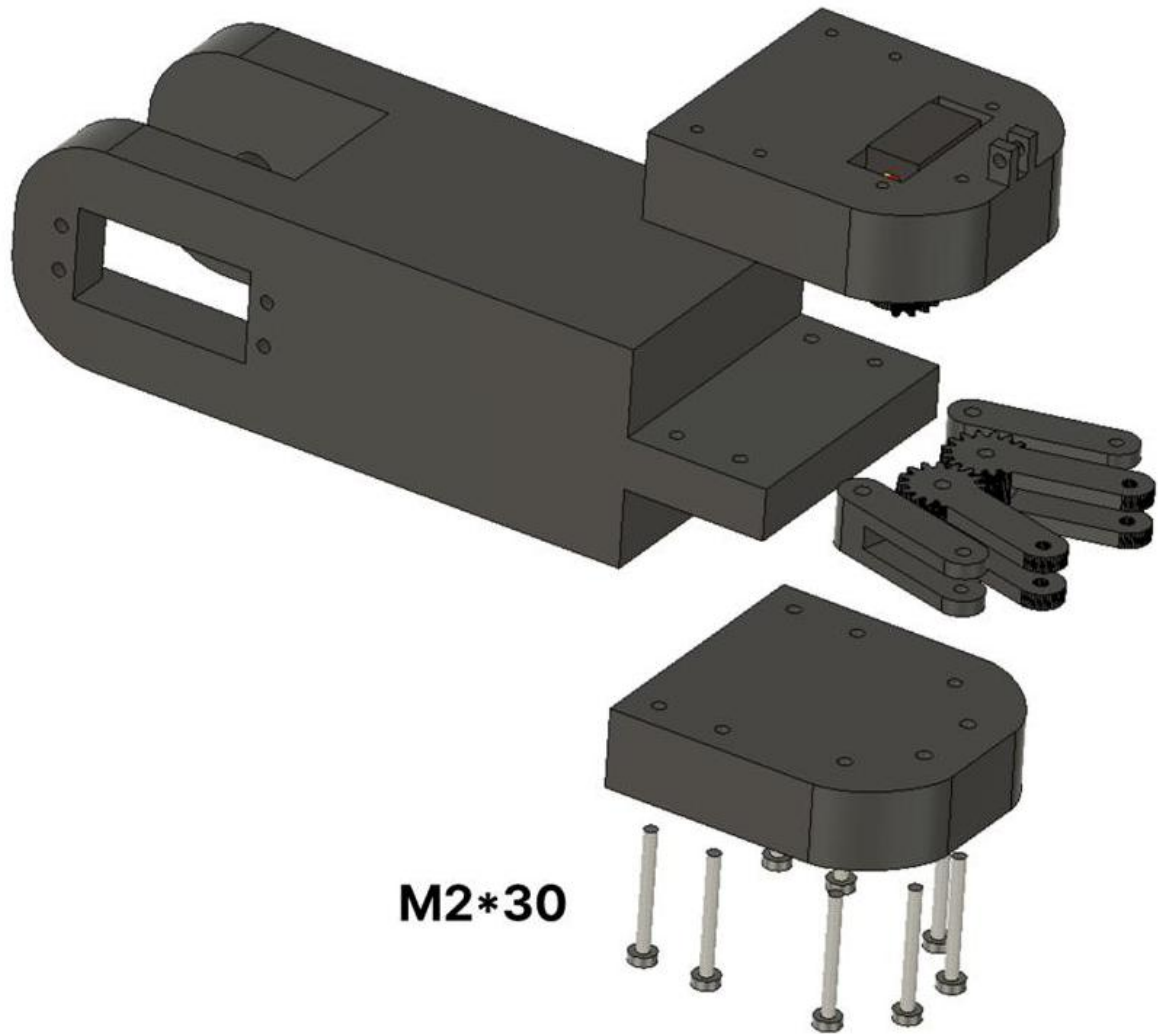


그림 6-42 그리퍼 링크 조립

로우어 암(F)을 사이에 두고 아래에서부터 그리퍼 홀더 바텀(H'), 그리퍼 링크(J) 두 개와 그리퍼 링크 기어(J') 두 개, 그리고 그리퍼 홀더 탑을 차례대로 구멍 위치에 맞게 M2×30 볼트(긴 은색 나사)로 체결한다. 이때 볼트는 아주 느슨하게 **가체결**해 둔다.

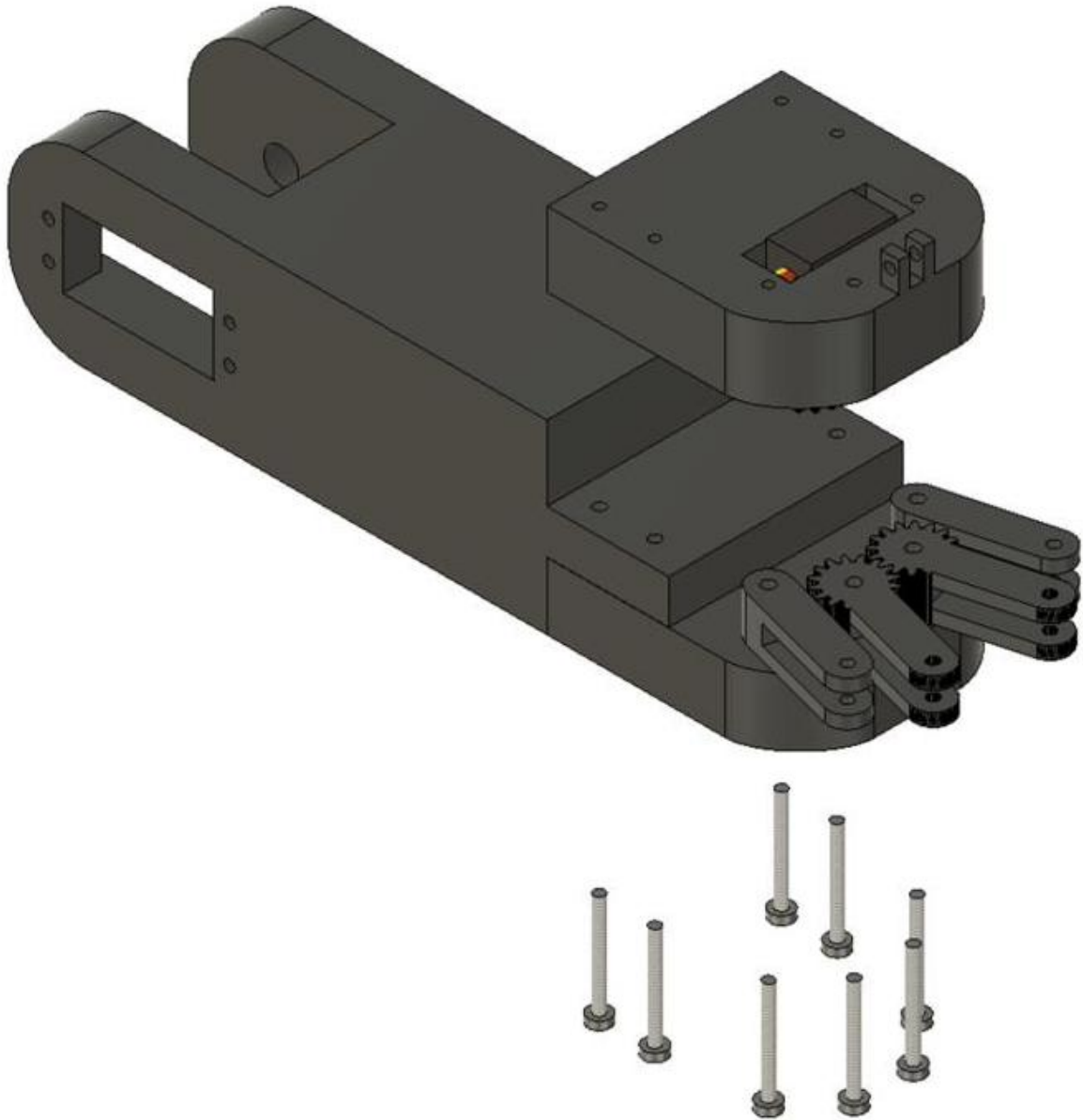


그림 6-43 그리퍼 링크 사이 각도

그리퍼 링크 한 쌍을 그리퍼 홀더 바텀 위에 안착시킬 때, 중앙에 법선(가운데 기준선)을 그었다고 생각하고 양쪽의 벌어진 각도가 동일하도록 배치한다(매우 중요!). 180도 이상으로 벌어지거나 아예 닫힌 형태로 배치하는 것 또한 금물이다.

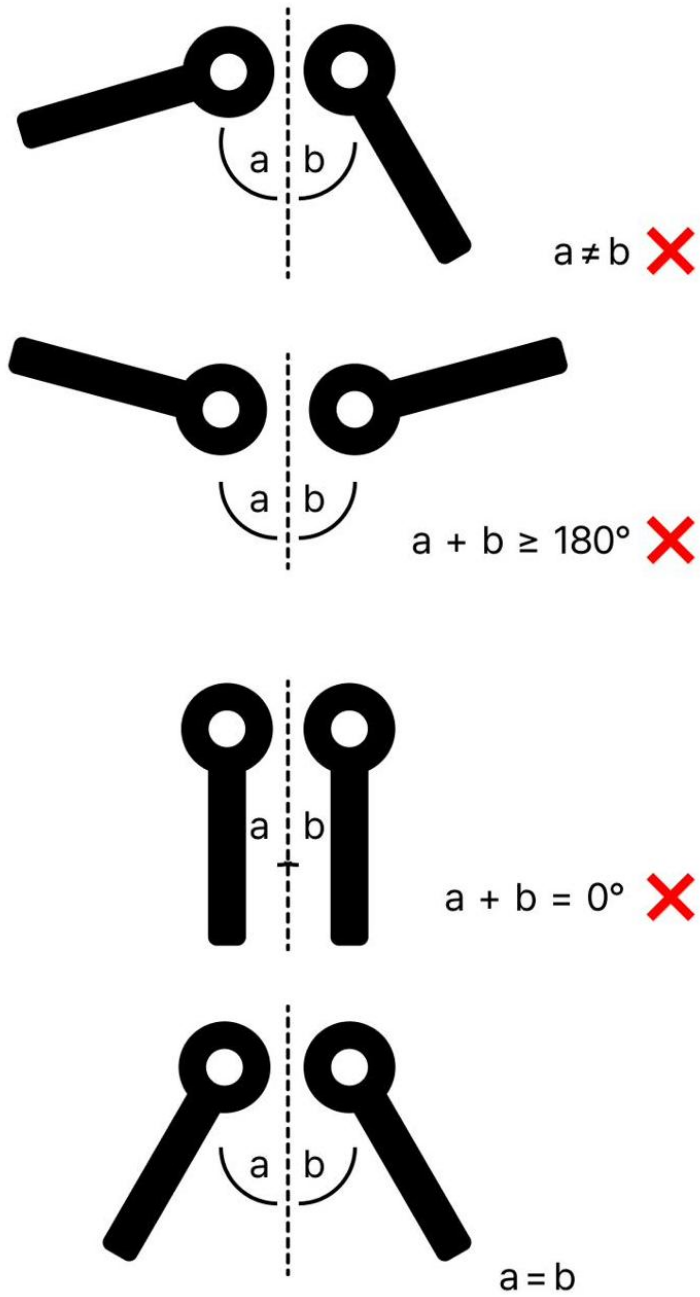


그림 6-44 위에서 본 그리퍼 링크 사이 각도

그리퍼 링크 한쪽이 다른 쪽보다 더 벌어져 있거나, 180도 이상으로 벌어지거나, 아예 닫힌 형태가 되지 않도록 주의한다.

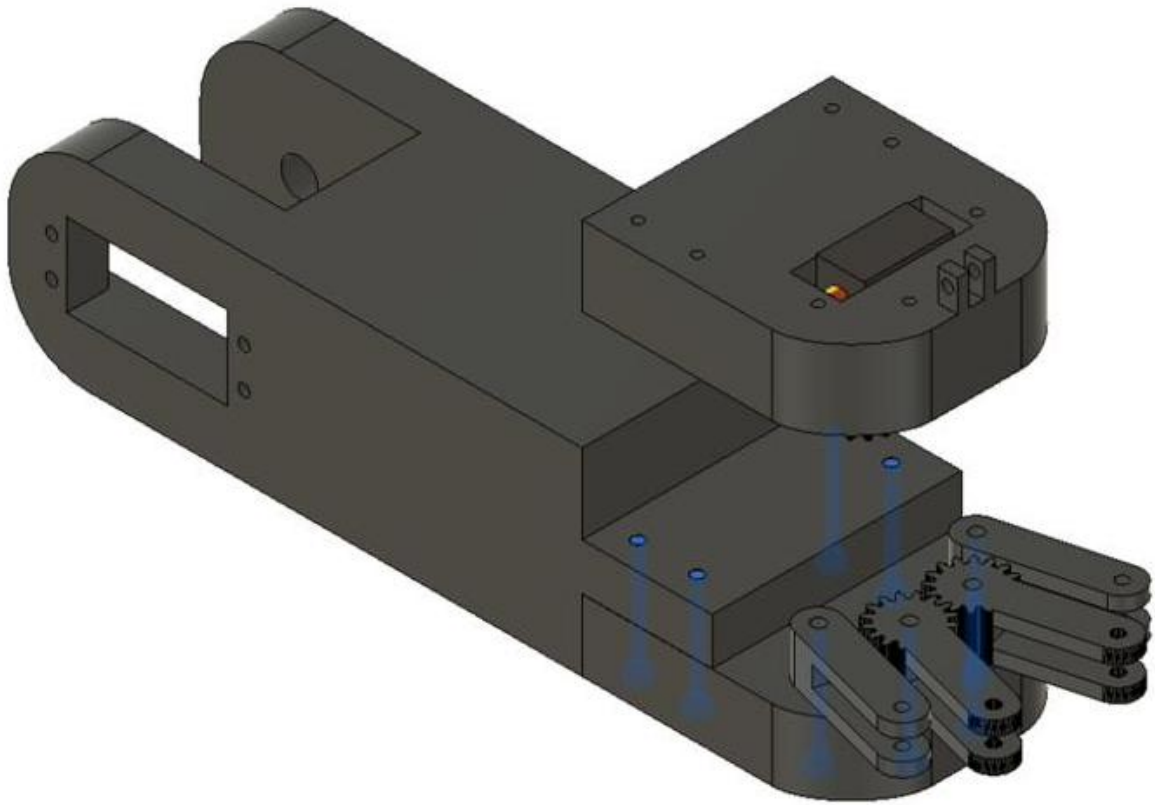


그림 6-45 그립퍼 홀더 결합 전 볼트 위치

그립퍼 홀더 바텀과 로우어 암 및 링크들을 이어 주고 있는 M2 볼트들이 그림과 같은 깊이 정도로만 체결된 상태에서, 그립퍼 홀더 탑을 올바른 위치에 배치한다.

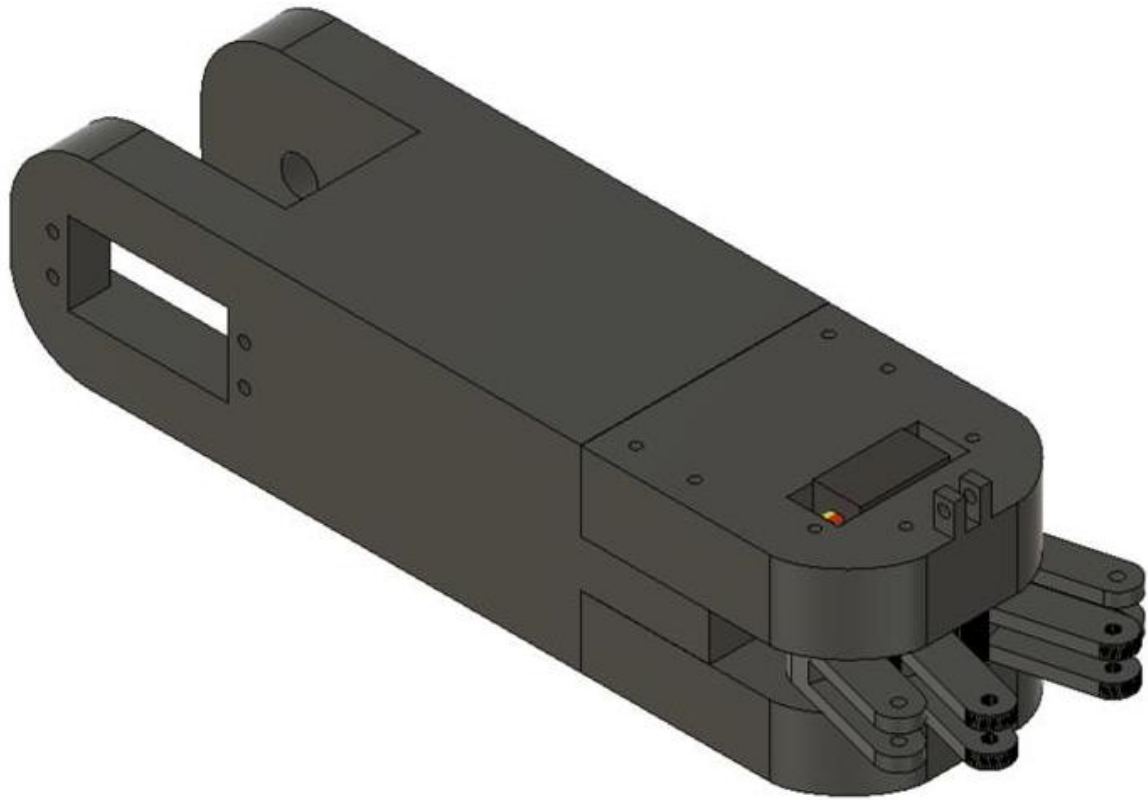


그림 6-46 볼트 최종 체결 전

모든 부품이 정렬된 상태이다.

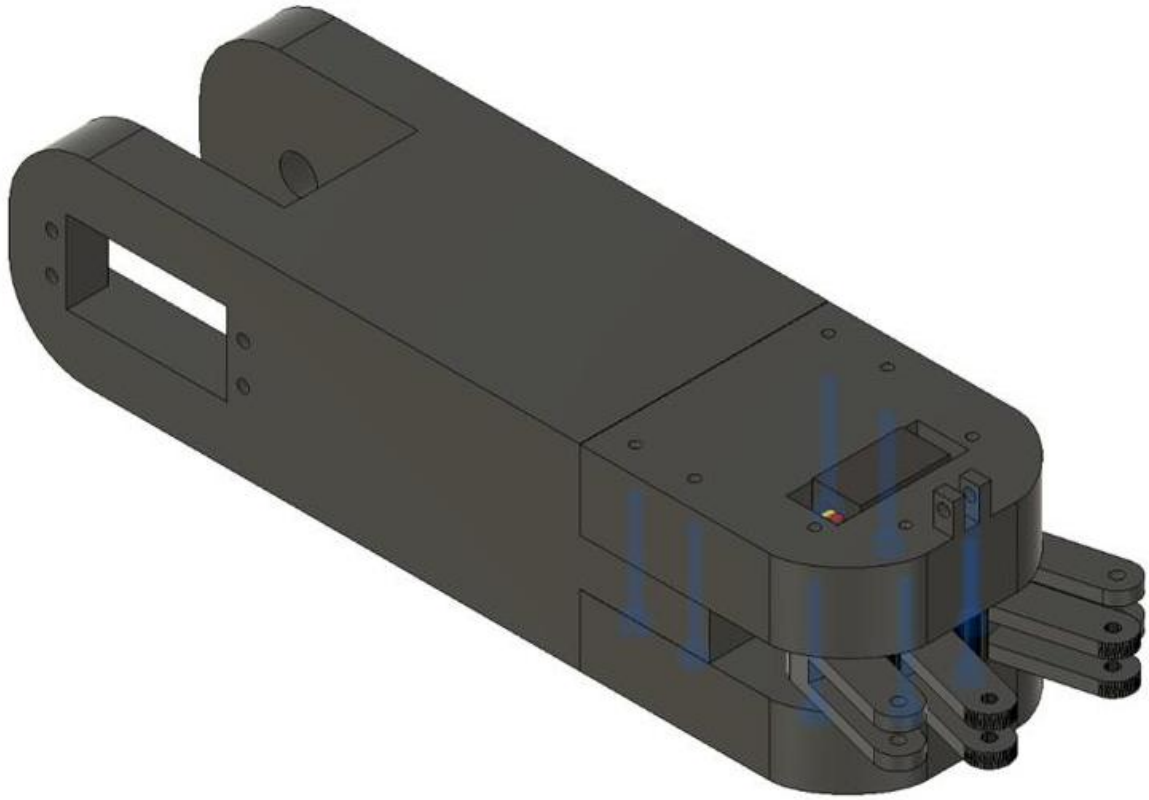


그림 6-47 볼트 최종 체결

파손을 방지하기 위해 적당한 저항감이 있을 때까지 볼트를 마저 조인다.

단계 10 그립퍼 장착

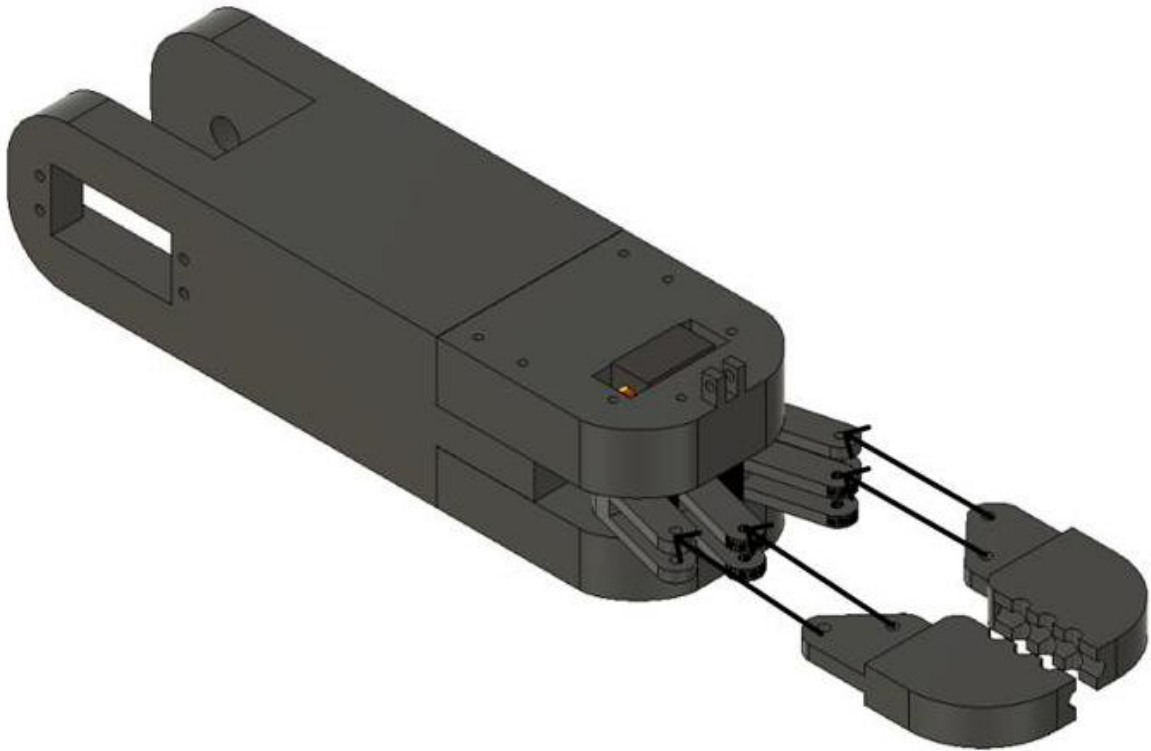


그림 6-48 그립퍼 삽입

그립퍼(G)의 볼트 구멍과 두 쌍의 링크 구멍들이 일치하도록 위치시킨다.

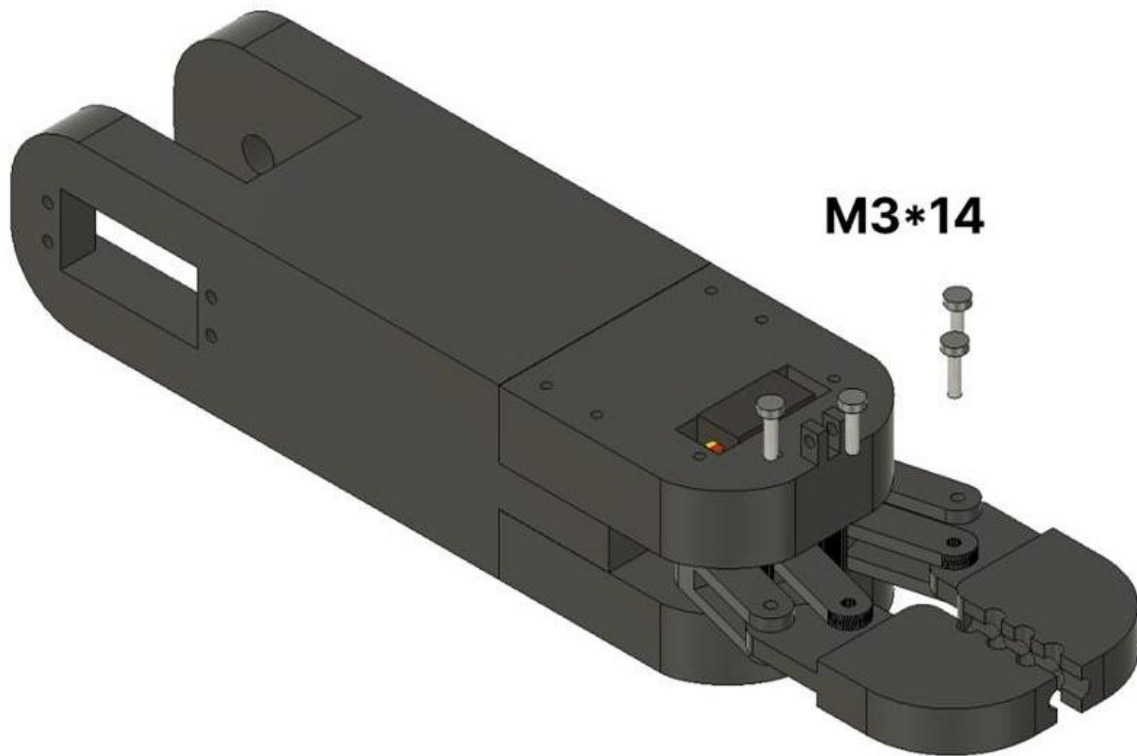


그림 6-49 그리퍼 체결

M3×14 볼트(은색 나사)로 그리퍼와 링크를 체결한다. 이때 볼트를 너무 세게 조이면 서보 모터의 토크 부족으로 그리퍼가 움직이지 못하게 되므로, 적당한 저항감이 느껴지기 전까지만 조인다.

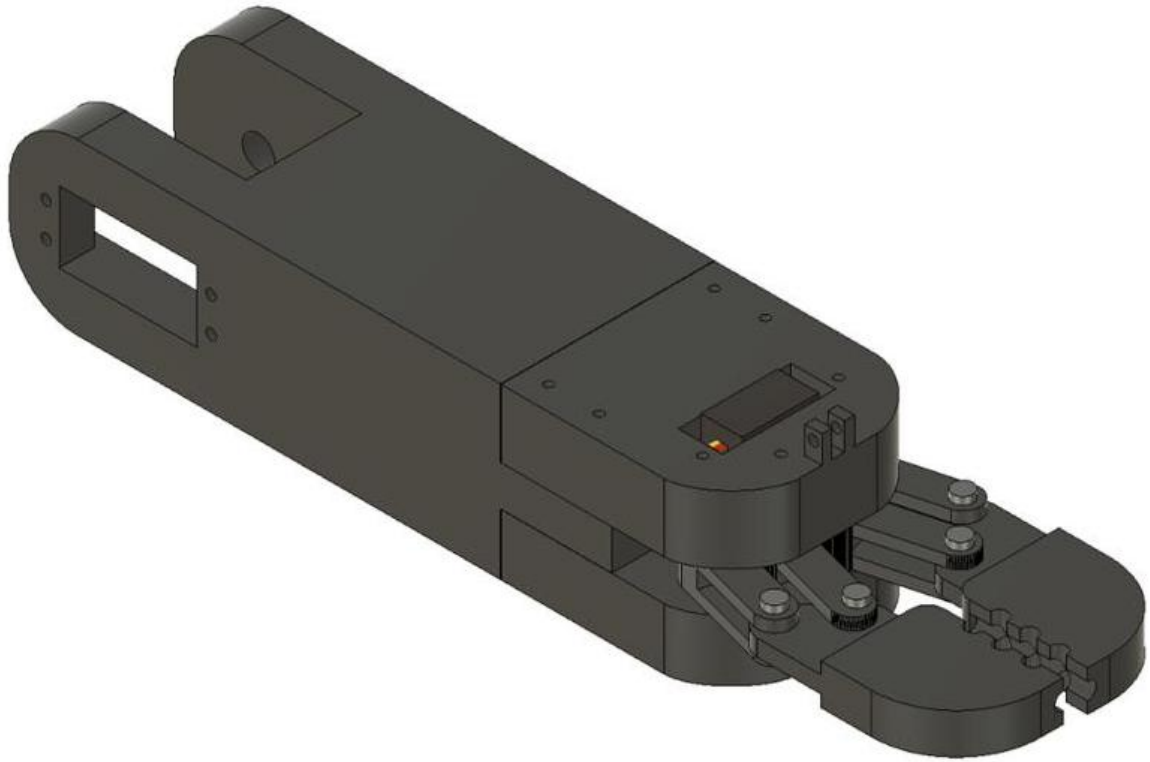


그림 6-50 그리퍼 완성

단계 11 그립퍼부와 어퍼 암 결합 — 엘보 서보 장착

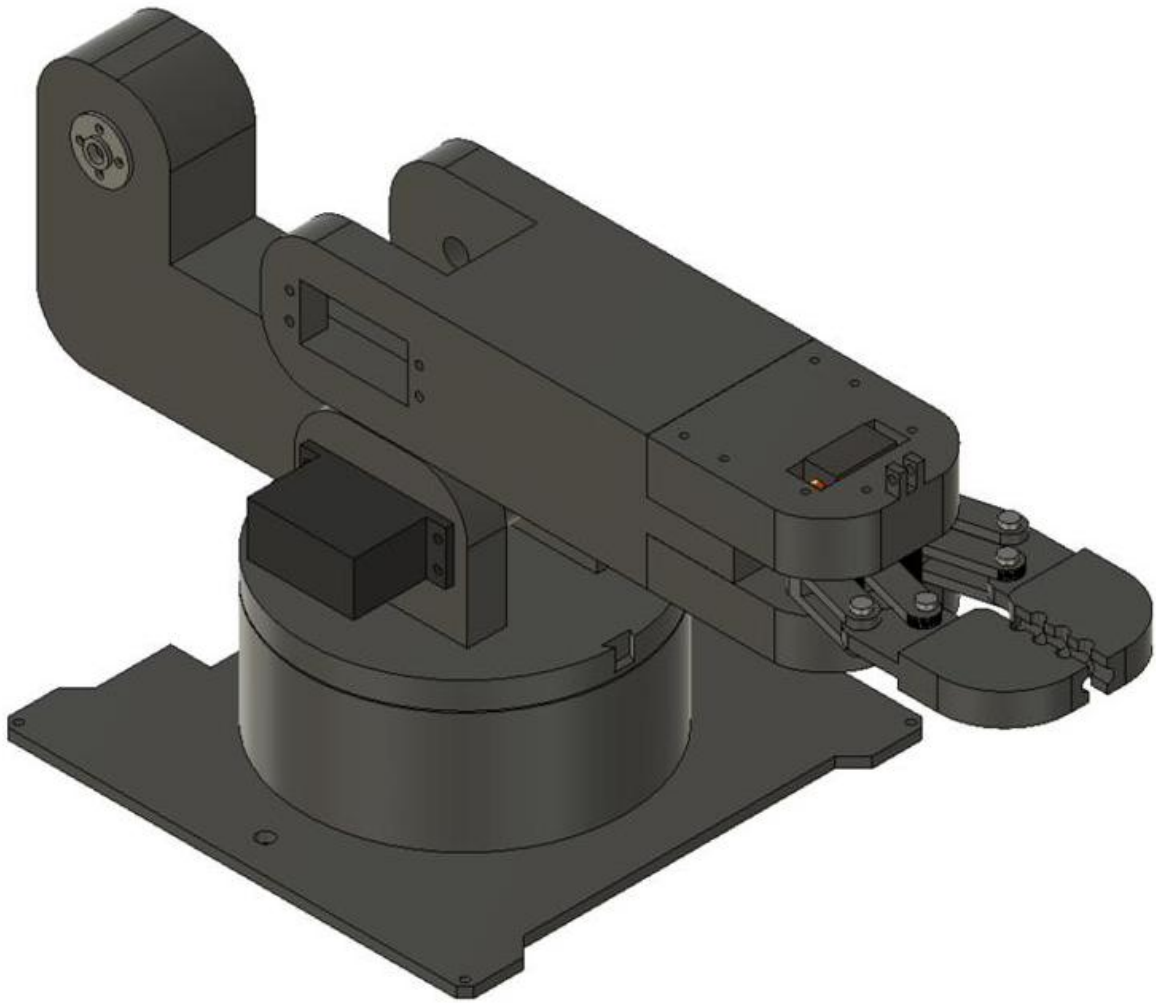


그림 6-51 그립퍼부와 나머지 부분 결합

완성된 그립퍼부를 어퍼 암 위에 안착시킨다. 플랜지와 서보 홈 위치가 일치하는 위치까지 밀어 넣는다.

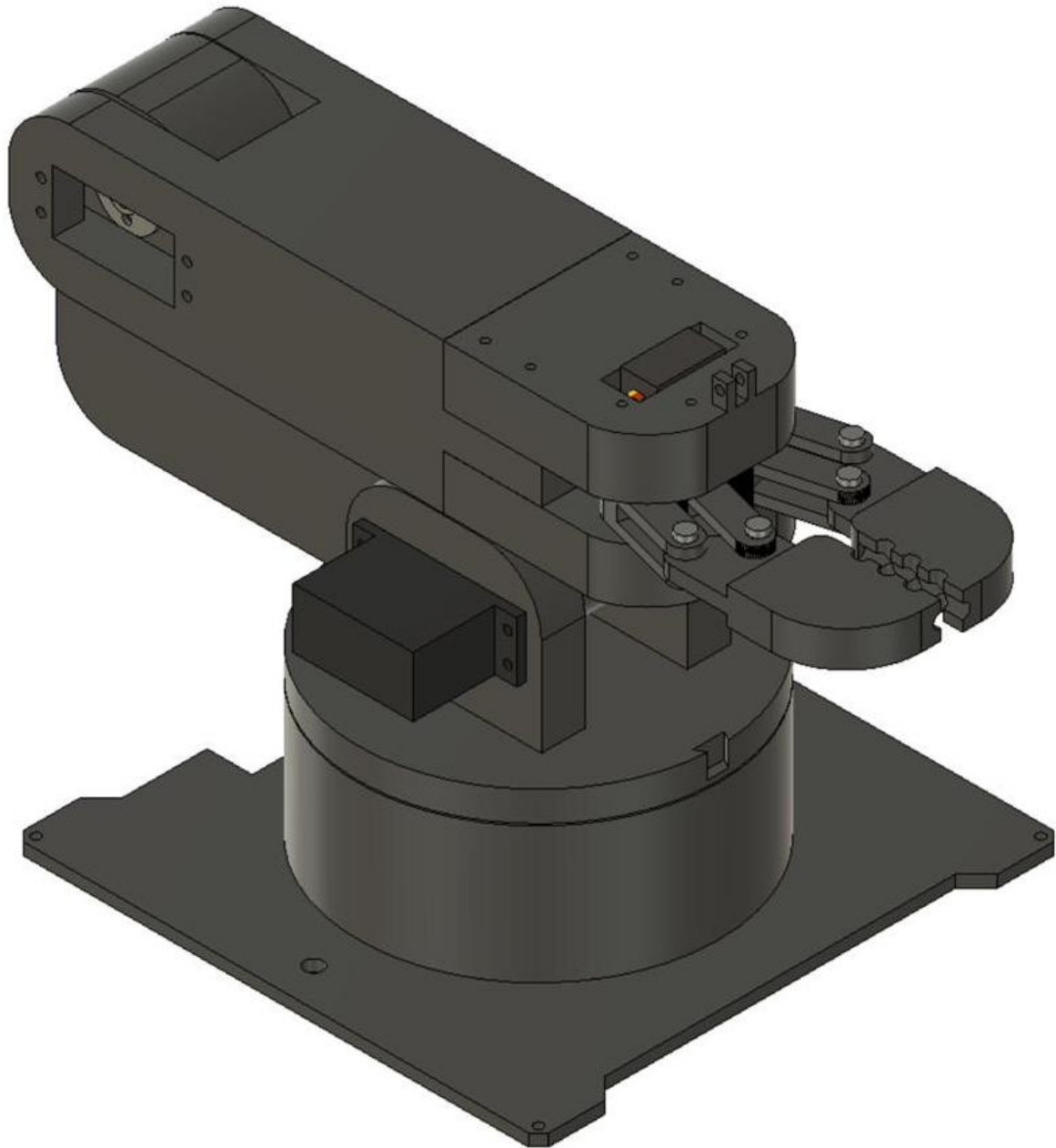


그림 6-52 로우어 암 위치

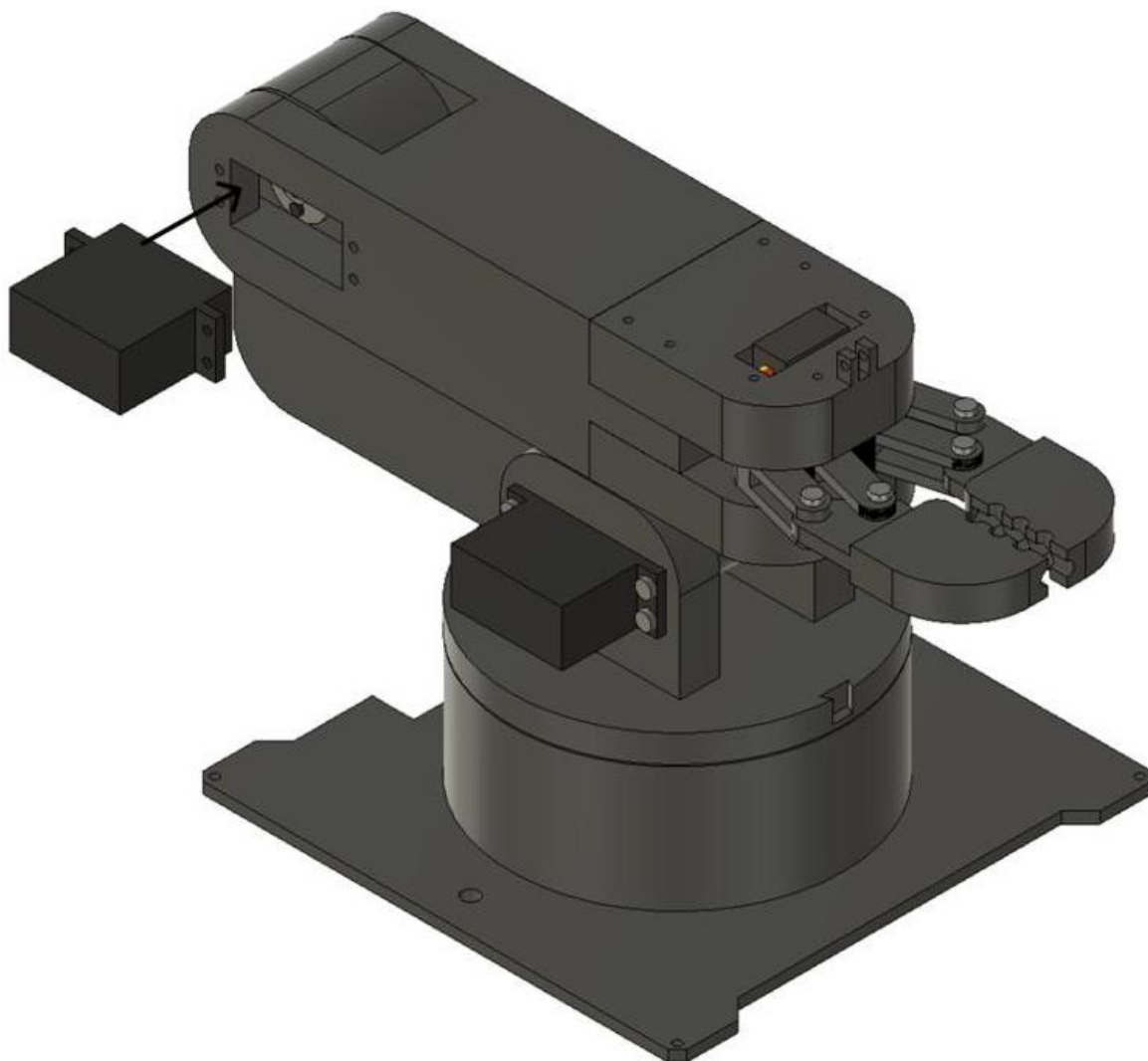


그림 6-53 C 자리(엘보)에 서보 장착

서보의 축 위치에 주의하며 서보를 로우어 암과 어퍼 암 사이의 연결부에 밀어 넣는다.

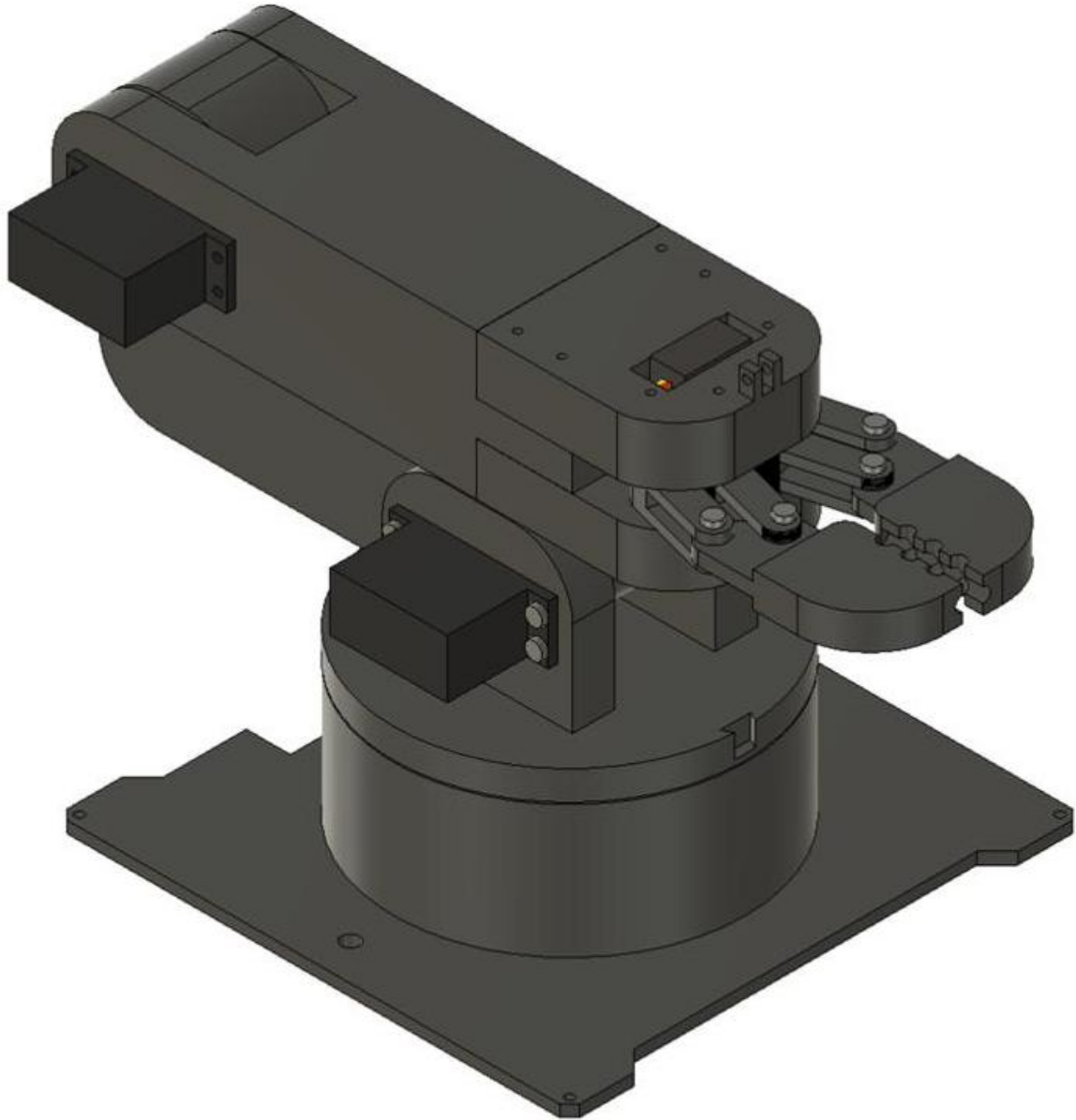


그림 6-54 로우어 암 면에 밀착된 서보

서보가 튀어나오지 않고 그림과 같이 로우어 암 면에 밀착되도록 배치했다면, 다음은 볼트를 체결할 차례이다.

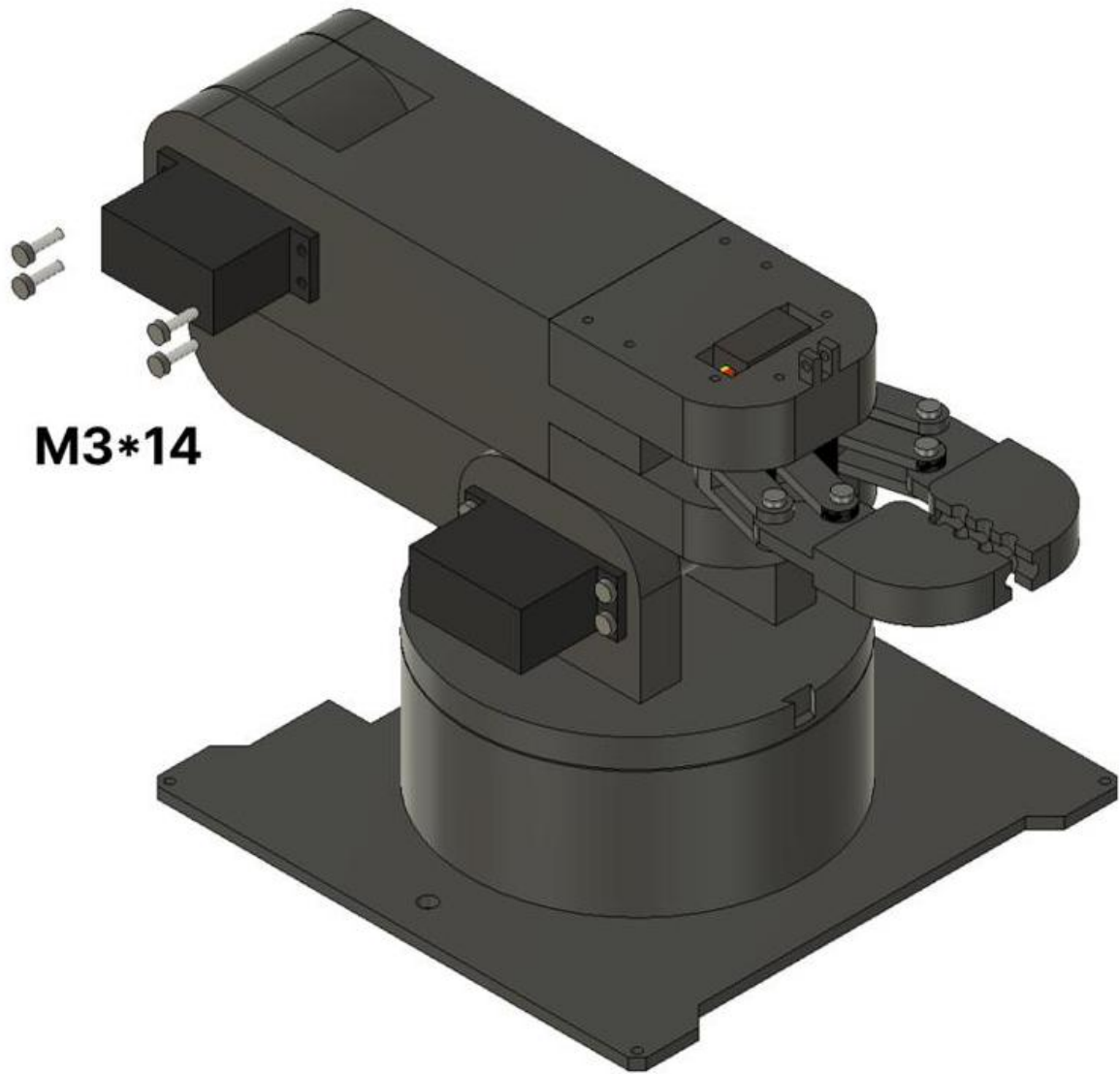


그림 6-55 엘보 서보 가체결

마지막 서보도 M3×14 볼트(검은색 나사) 네 개로 **가체결**한다. 가체결만 하는 이유는 이제 여러분이 더 잘 알 것이다.

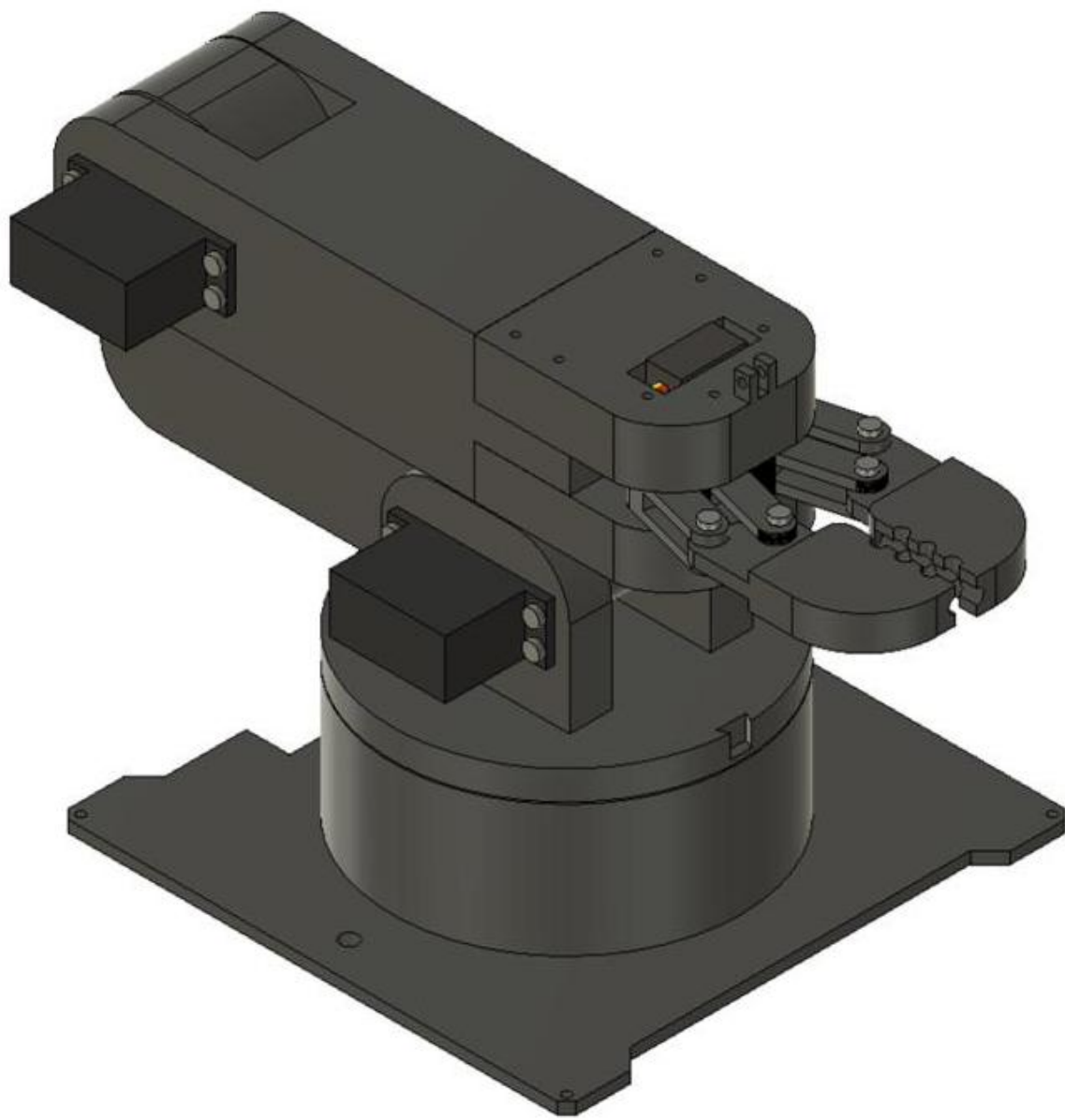


그림 6-56 팔 몸통 조립 완료

단계 12 라즈베리파이 마운트

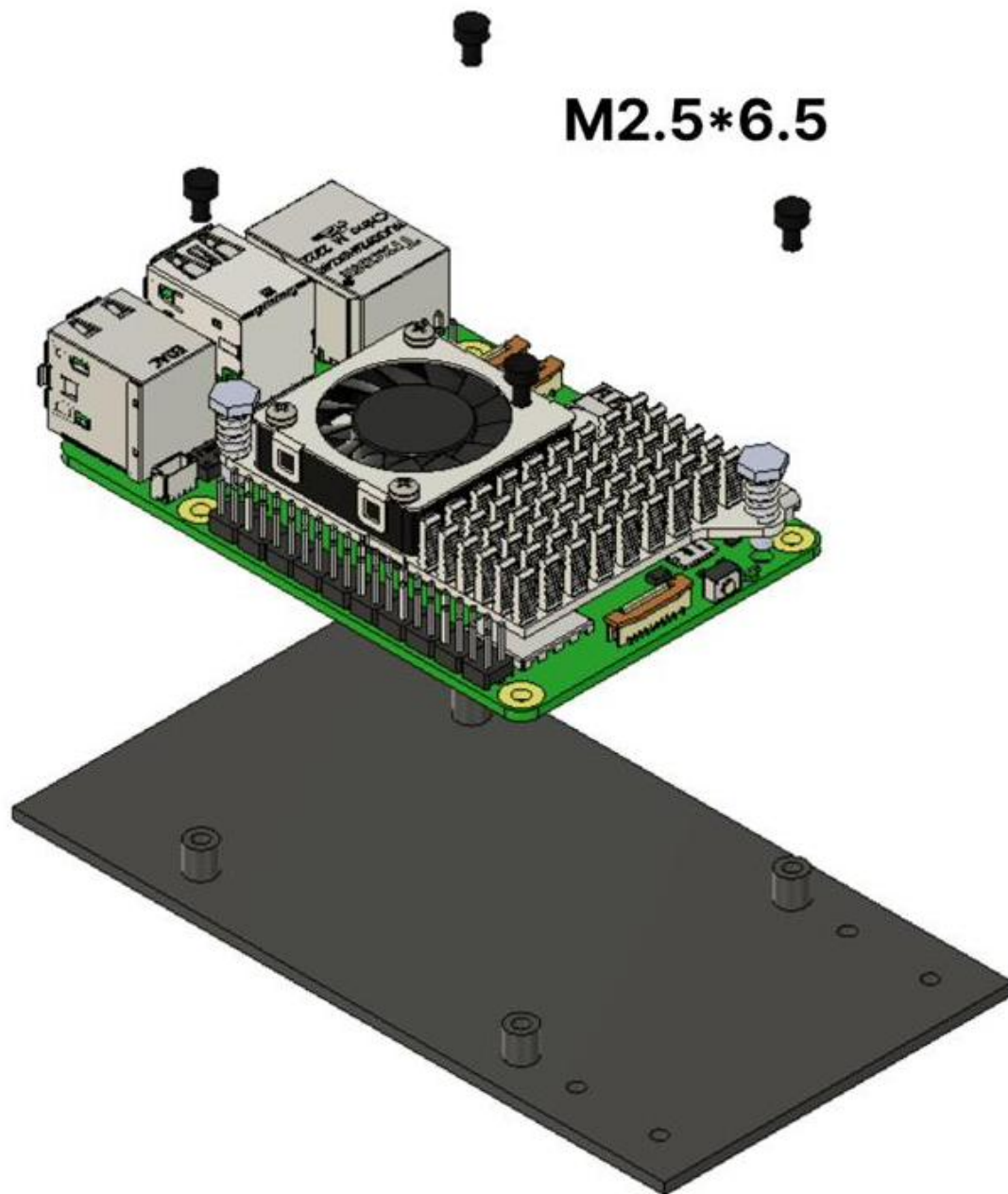


그림 6-57 라즈베리파이 마운트 조립

라즈베리파이 마운트(K)의 구멍 네 개와, 앞서 쿨러와 결합한 라즈베리파이의 볼트 구멍 위치를 일치시킨 뒤 M2.5×6.5 볼트(짧은 검은색 나사)로 체결한다.

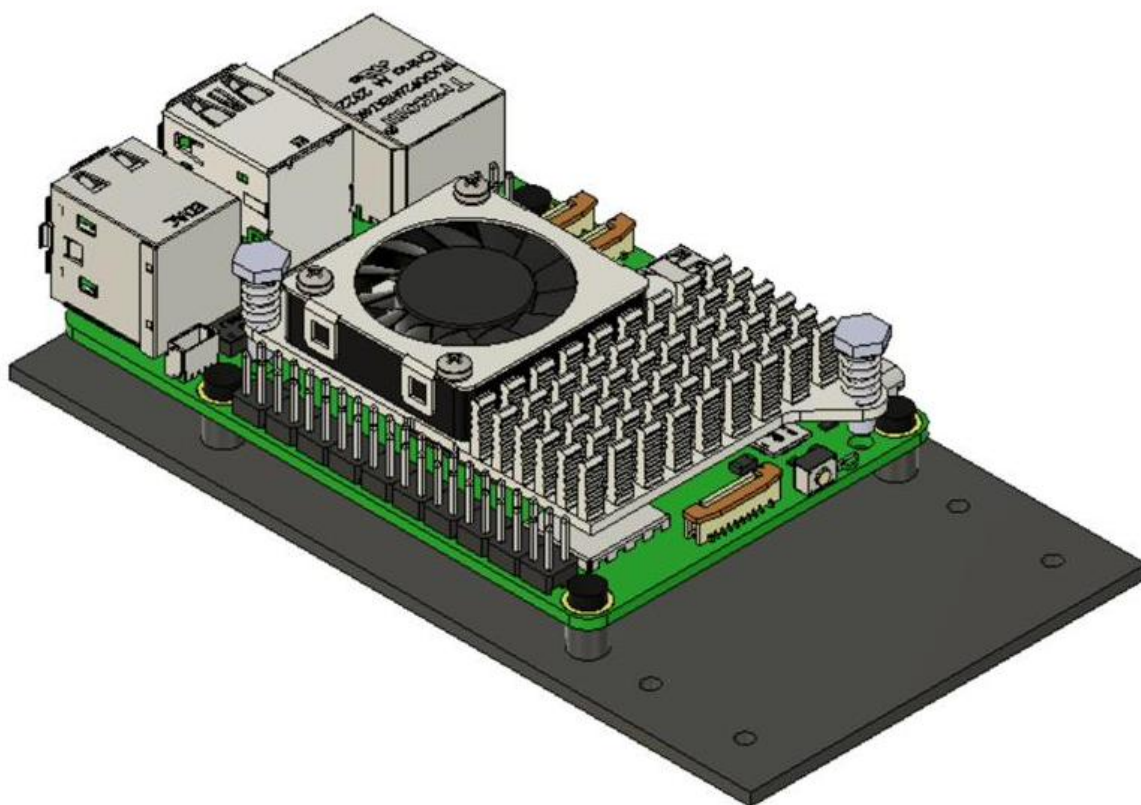


그림 6-58 마운트 체결 완료

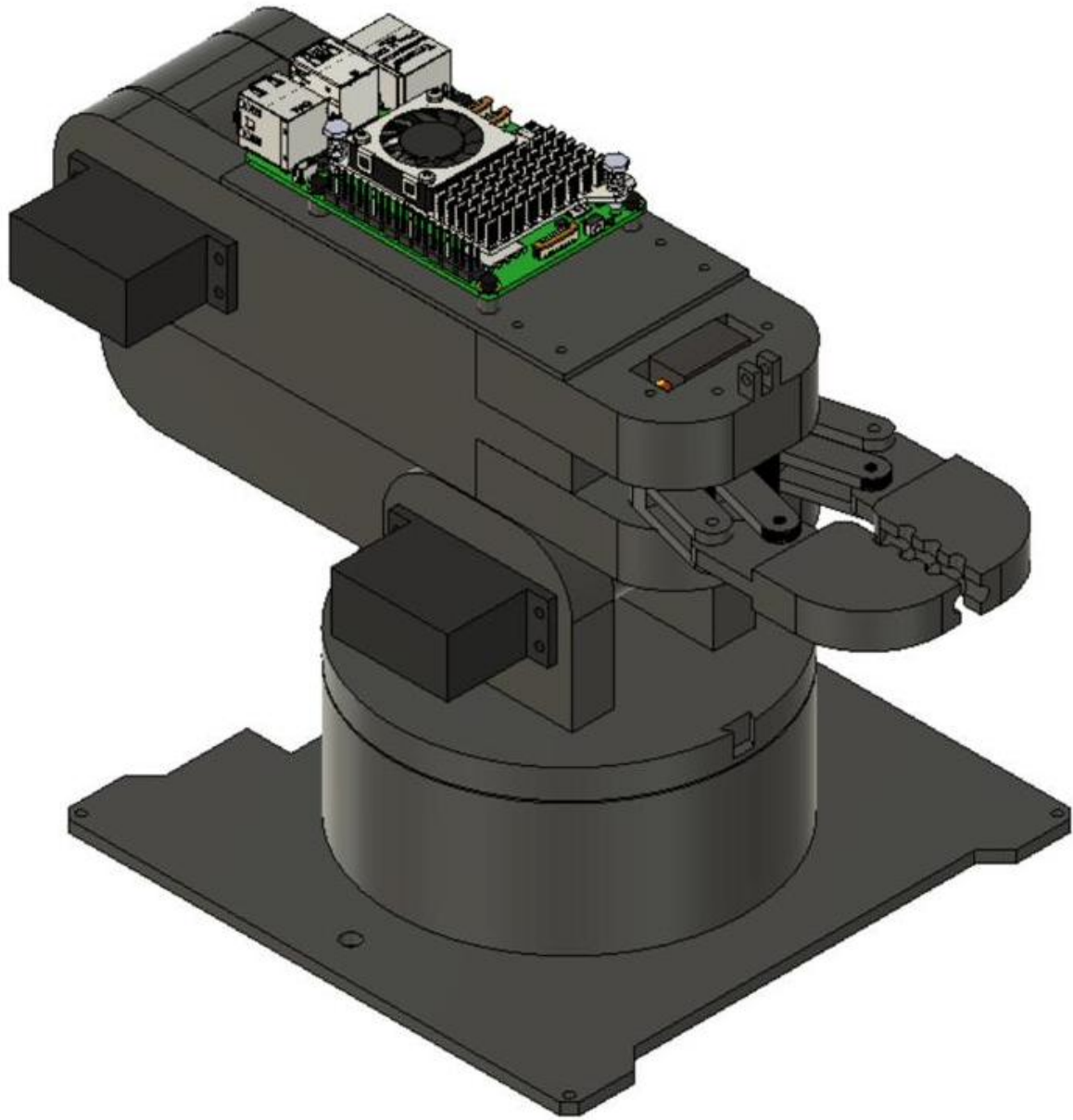


그림 6-59 라즈베리파이 마운트 배치

지금까지 완성한 로봇팔 위에 라즈베리파이 마운트를 배치한다.

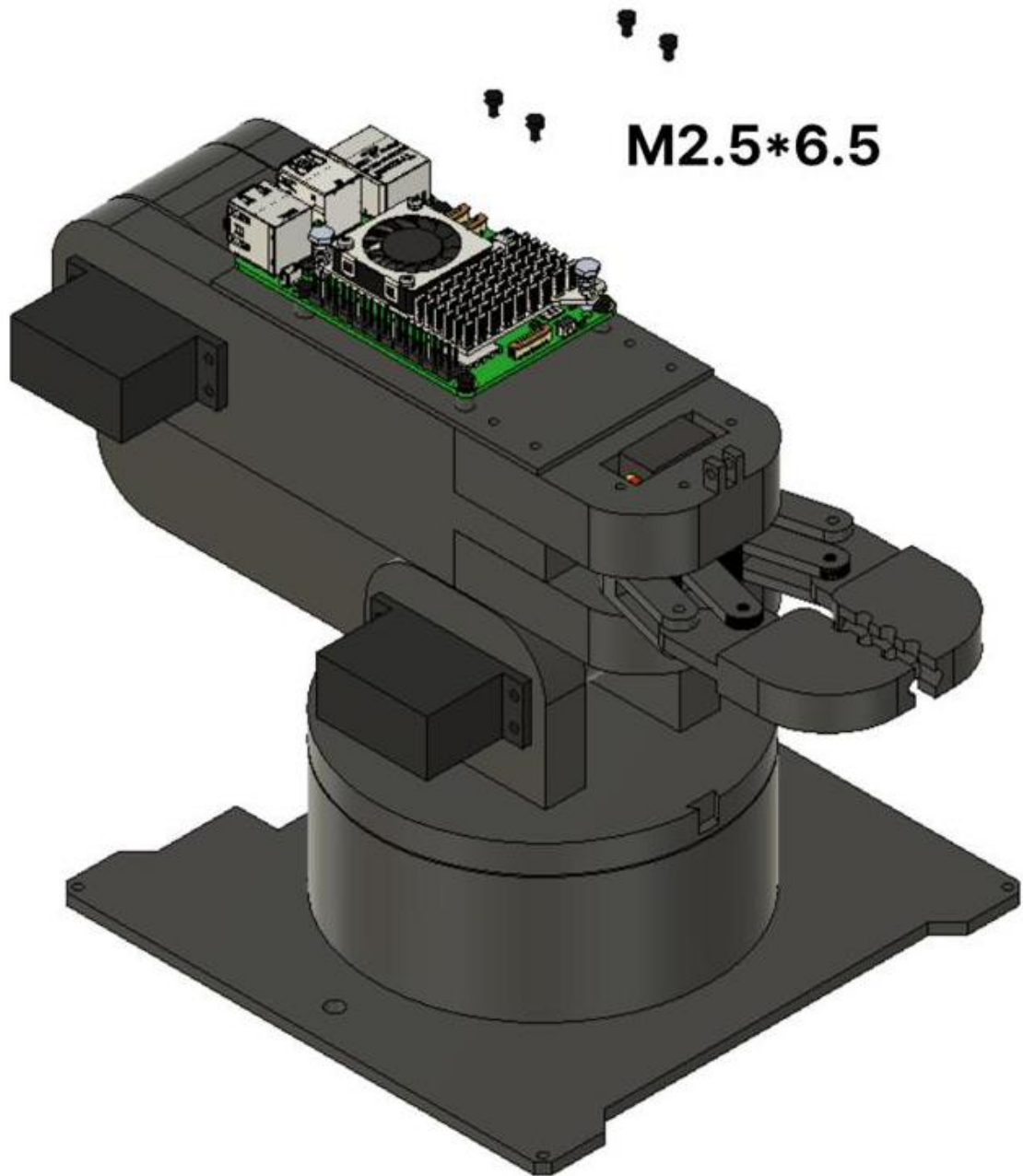


그림 6-60 라즈베리파이 마운트 체결

구멍 위치를 일치시킨 상태에서 M2.5×6.5 볼트(짧은 검은색 나사)로 체결한다.

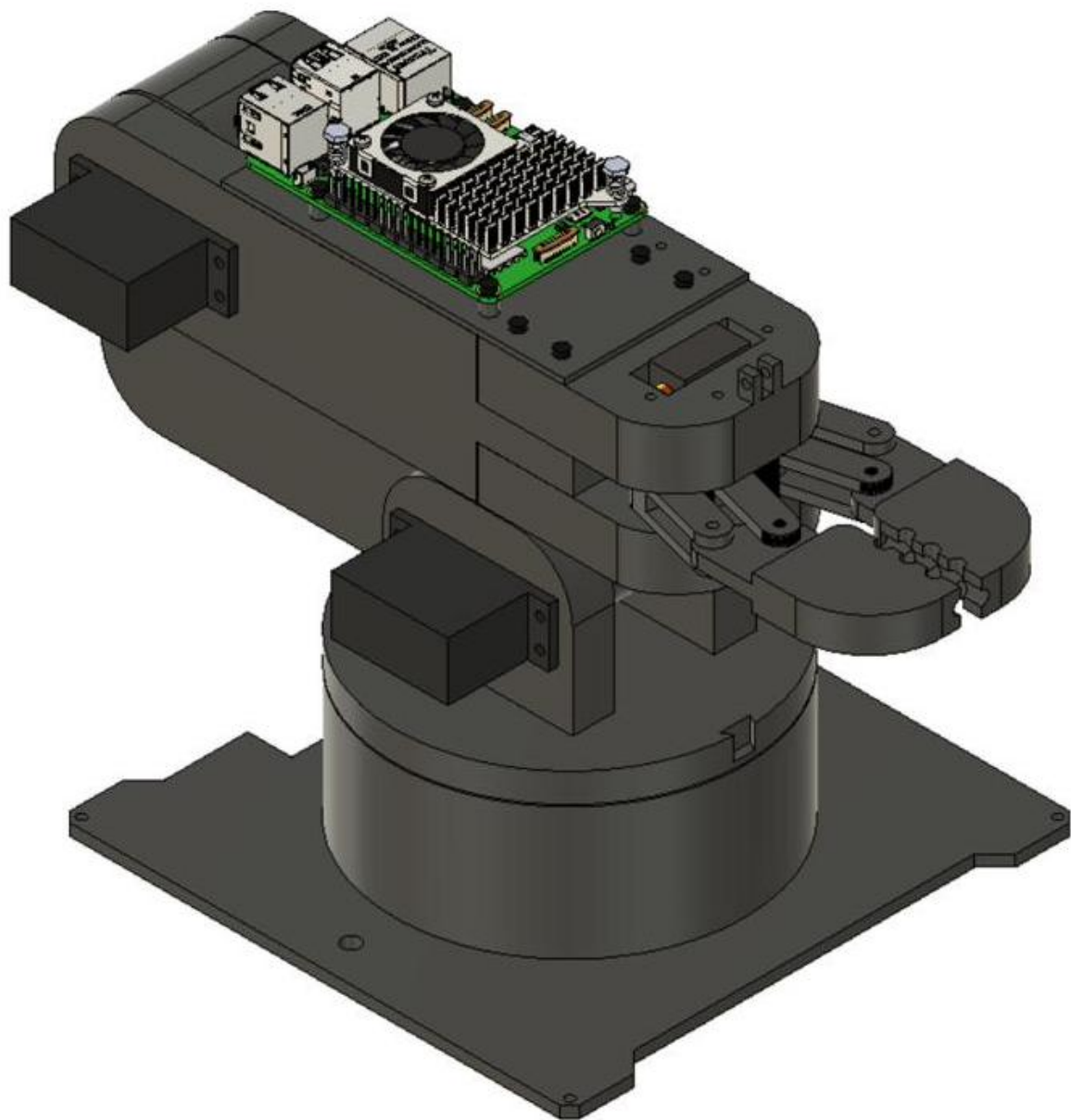


그림 6-61 라즈베리파이 장착 완료

단계 13 커버 핀 마감

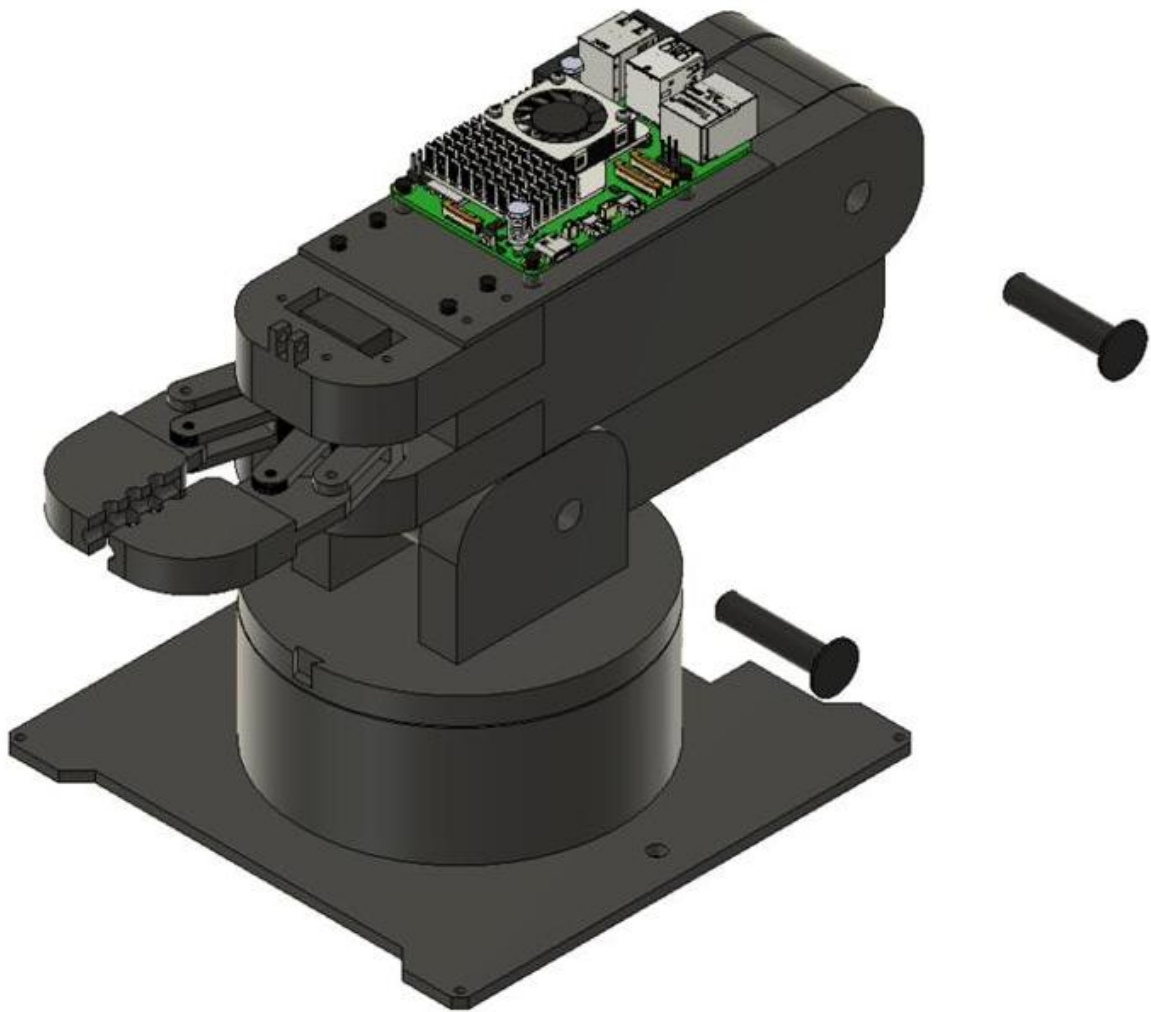


그림 6-62 커버 핀 삽입

서보 모터 반대편 구멍을 커버 핀으로 마감한다. 커버 핀은 미관을 위한 마감 부품이므로, 분실했더라도 로봇팔의 동작에는 지장이 없다.

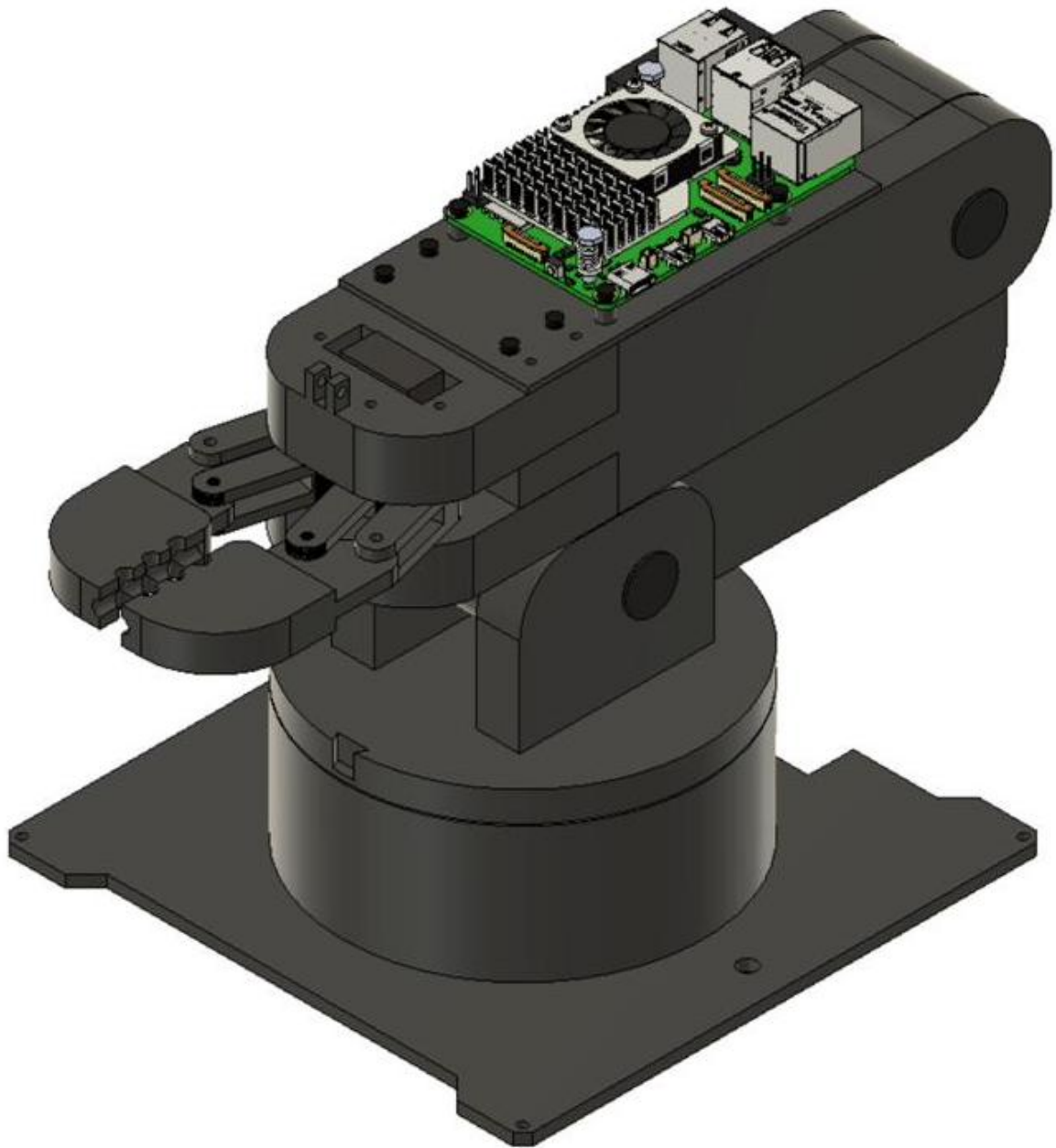


그림 6-63 커버 핀 마감 완료

단계 14 바텀 챔버 전장부품 배치

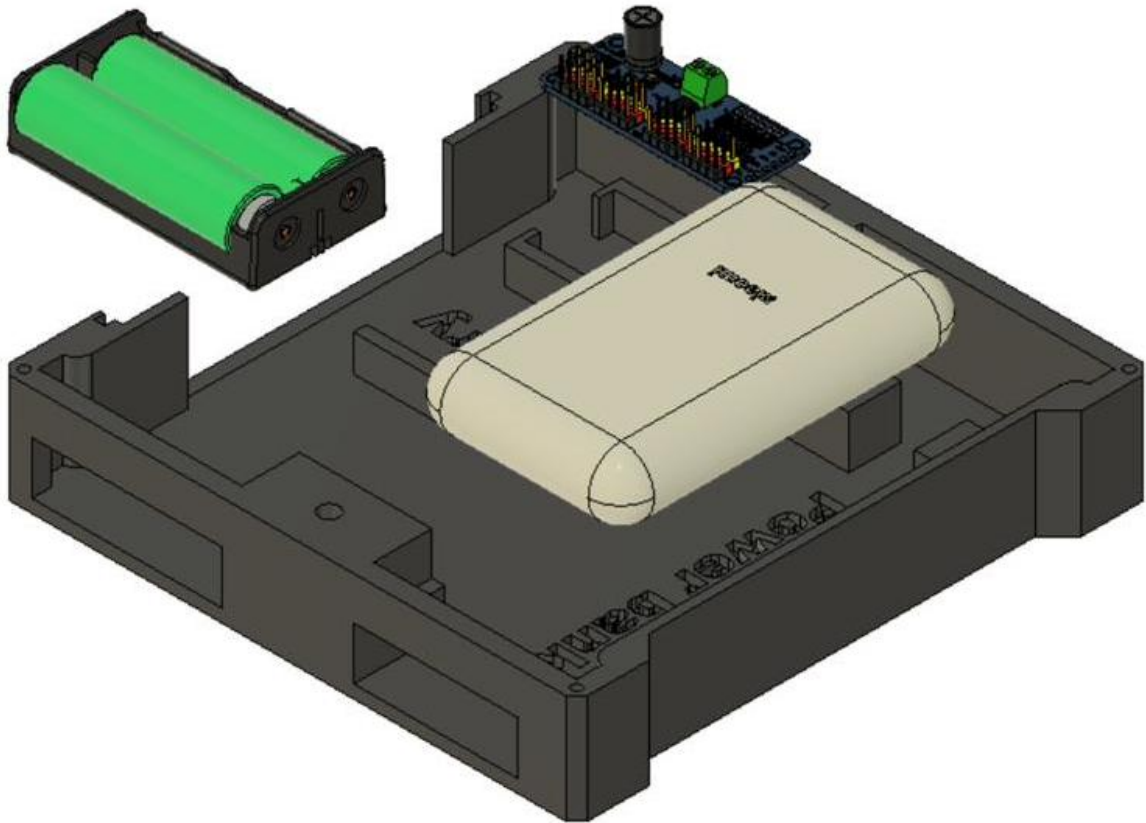


그림 6-64 바텀 챔버 전장부품 배치

바텀 챔버(A)에 리튬 이온 배터리 홀더, 보조배터리(X), PWM 서보 드라이버 보드를 배치한다.

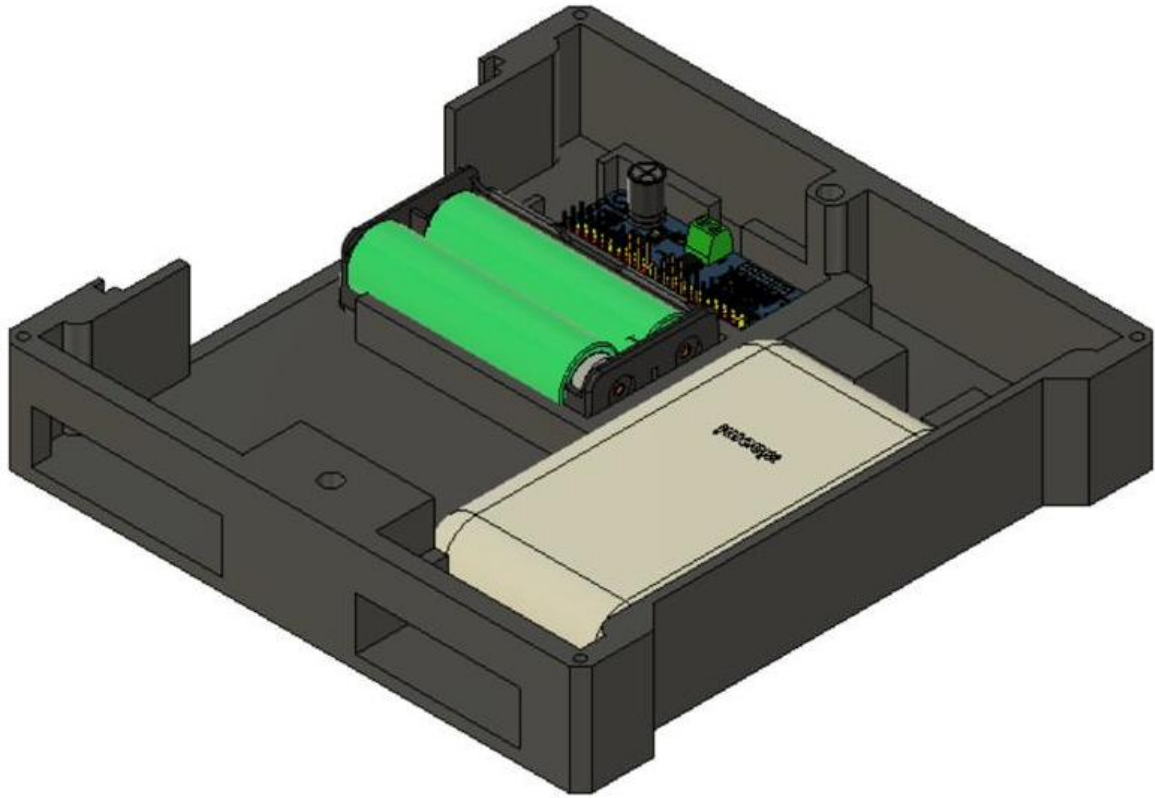


그림 6-65 안착 상태 확인

빈틈없이 견고하게 안착되는 것을 확인한다.

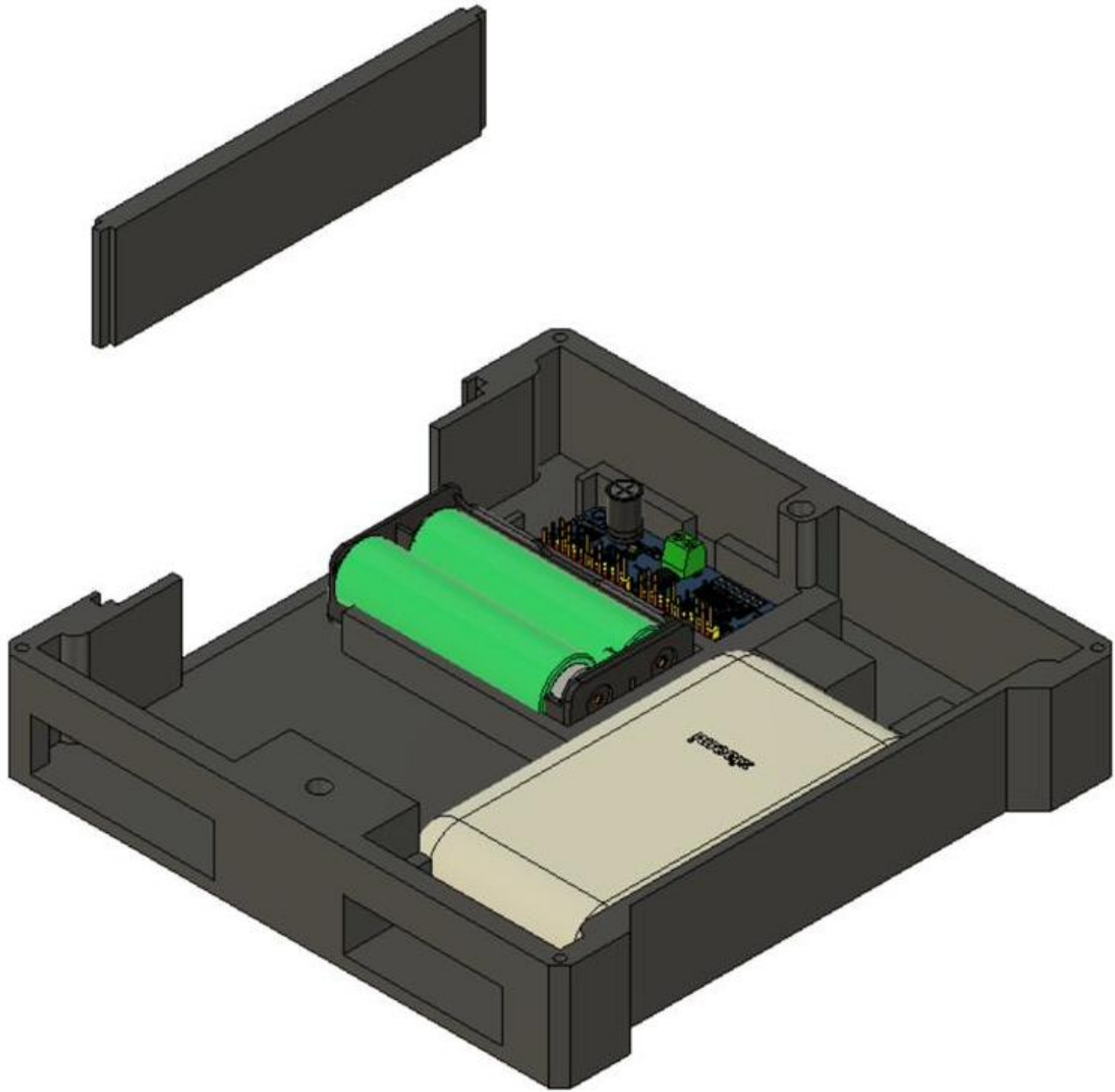


그림 6-66 슬라이드 인 커버 삽입

리튬 이온 배터리 리드선, 보조배터리 USB 케이블 등을 빼낸 뒤 슬라이드 인 커버(C)를 삽입하여 마무리한다.

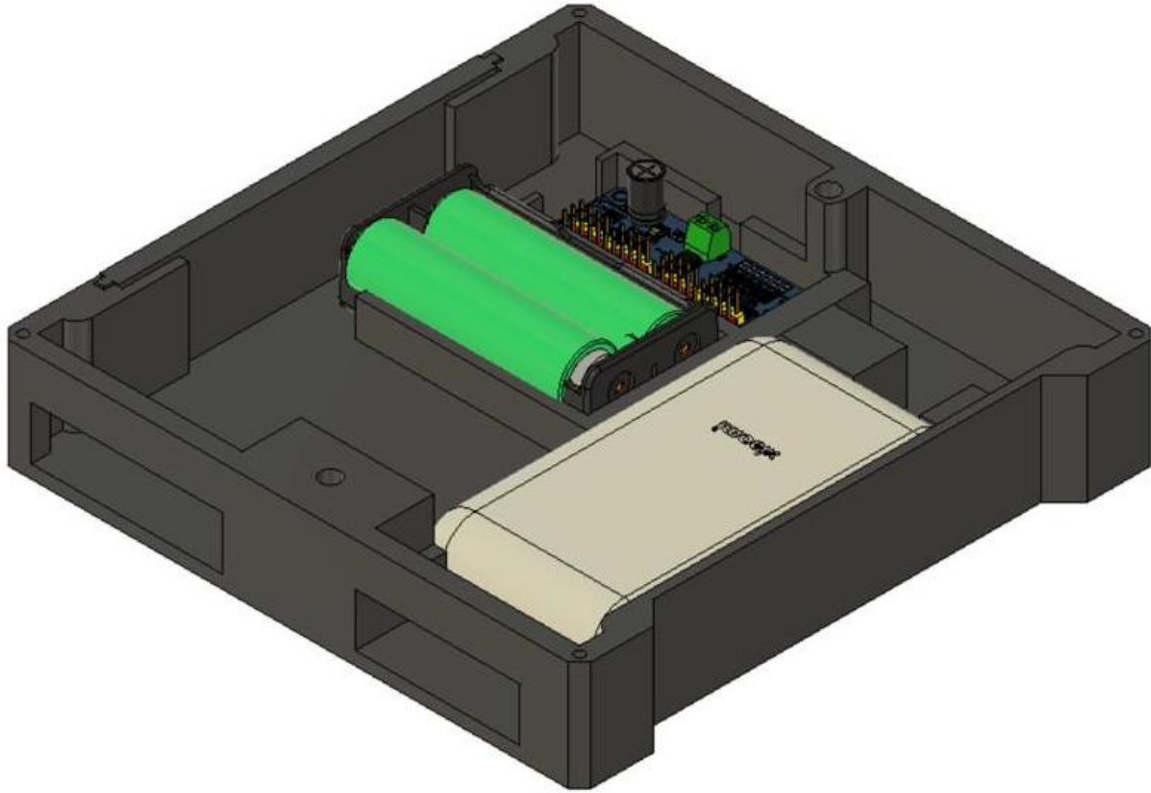


그림 6-67 바텀 챔버 완성

단계 15 로봇팔과 바텀 챔버 결합

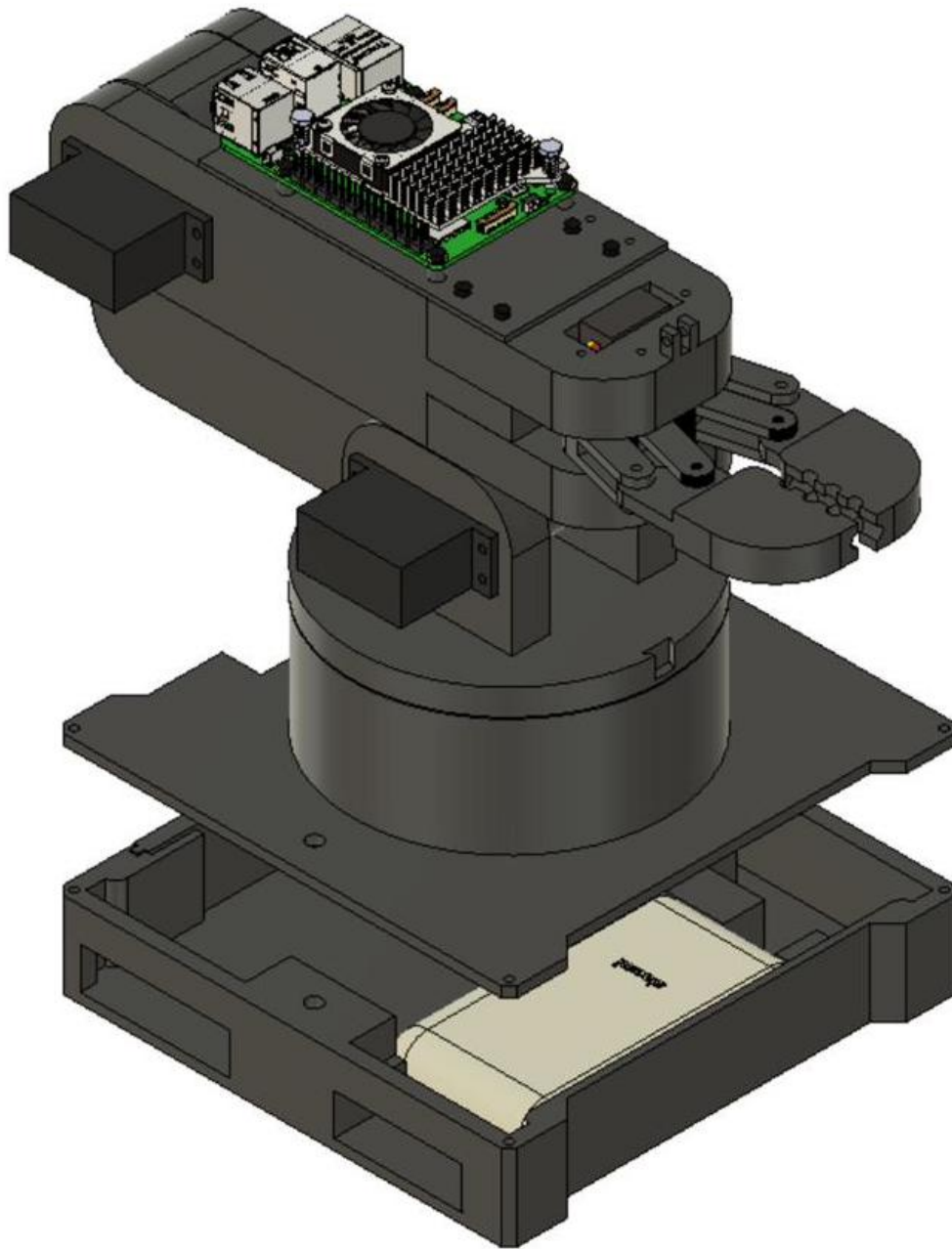


그림 6-68 최종 결합

완성된 바텀 챔버 위에 조립해 두었던 로봇팔을 안착시킨다.

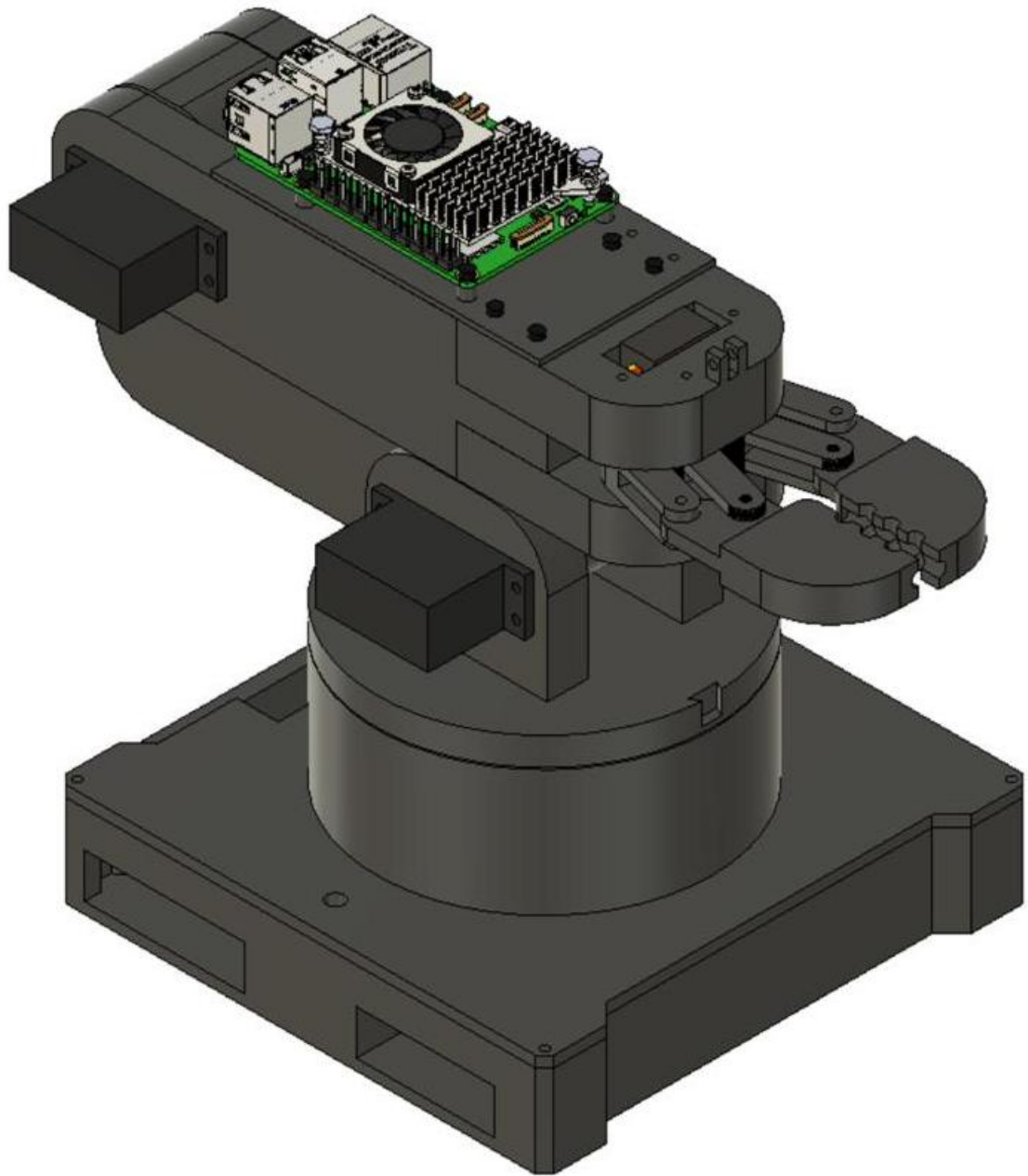


그림 6-69 위치 확인

볼트 구멍 위치를 일치시킨다.

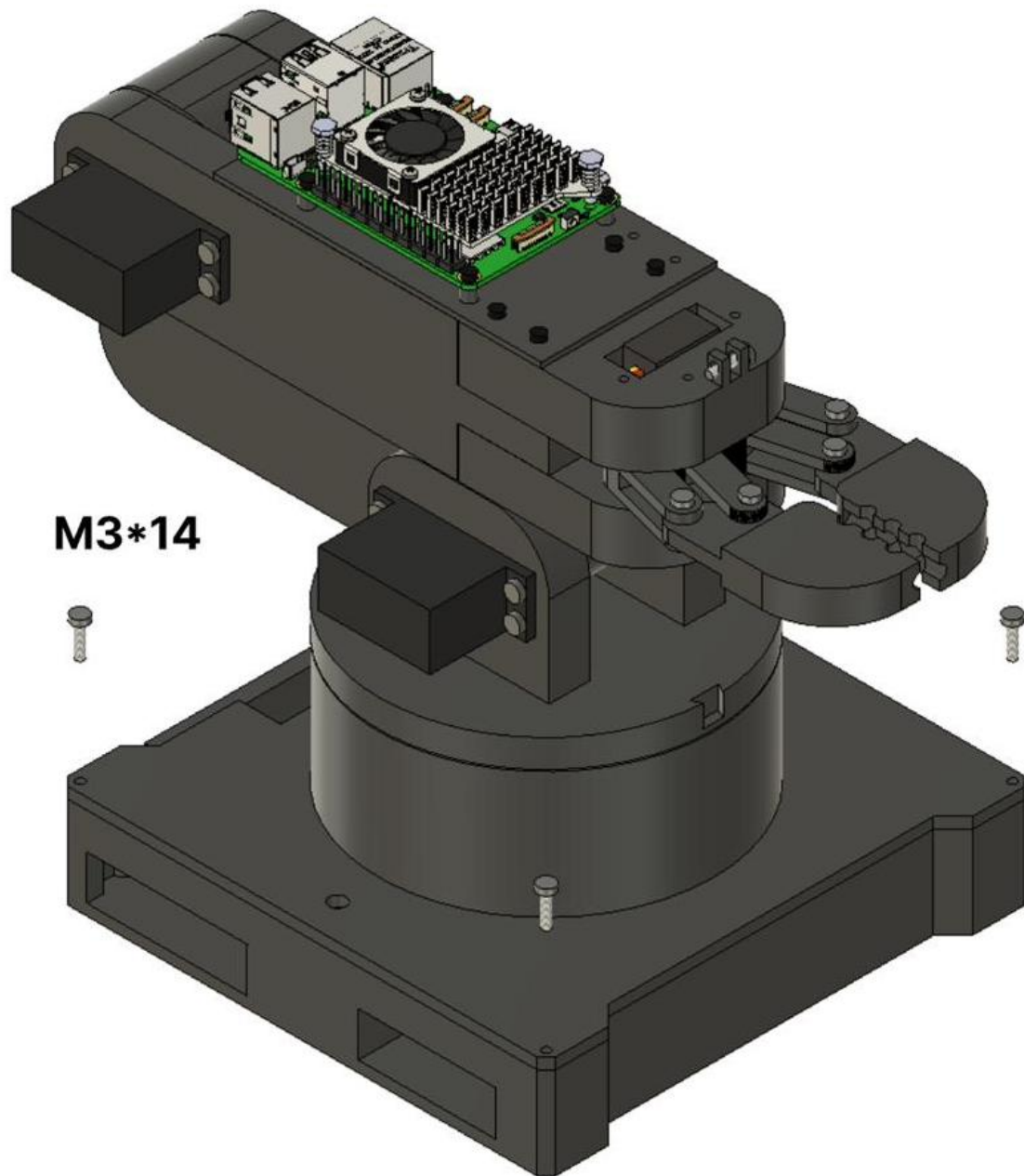


그림 6-70 볼트 체결

M3×14 볼트(검은색 나사) 네 개로 로봇팔과 바텀 챔버를 단단히 고정한다.

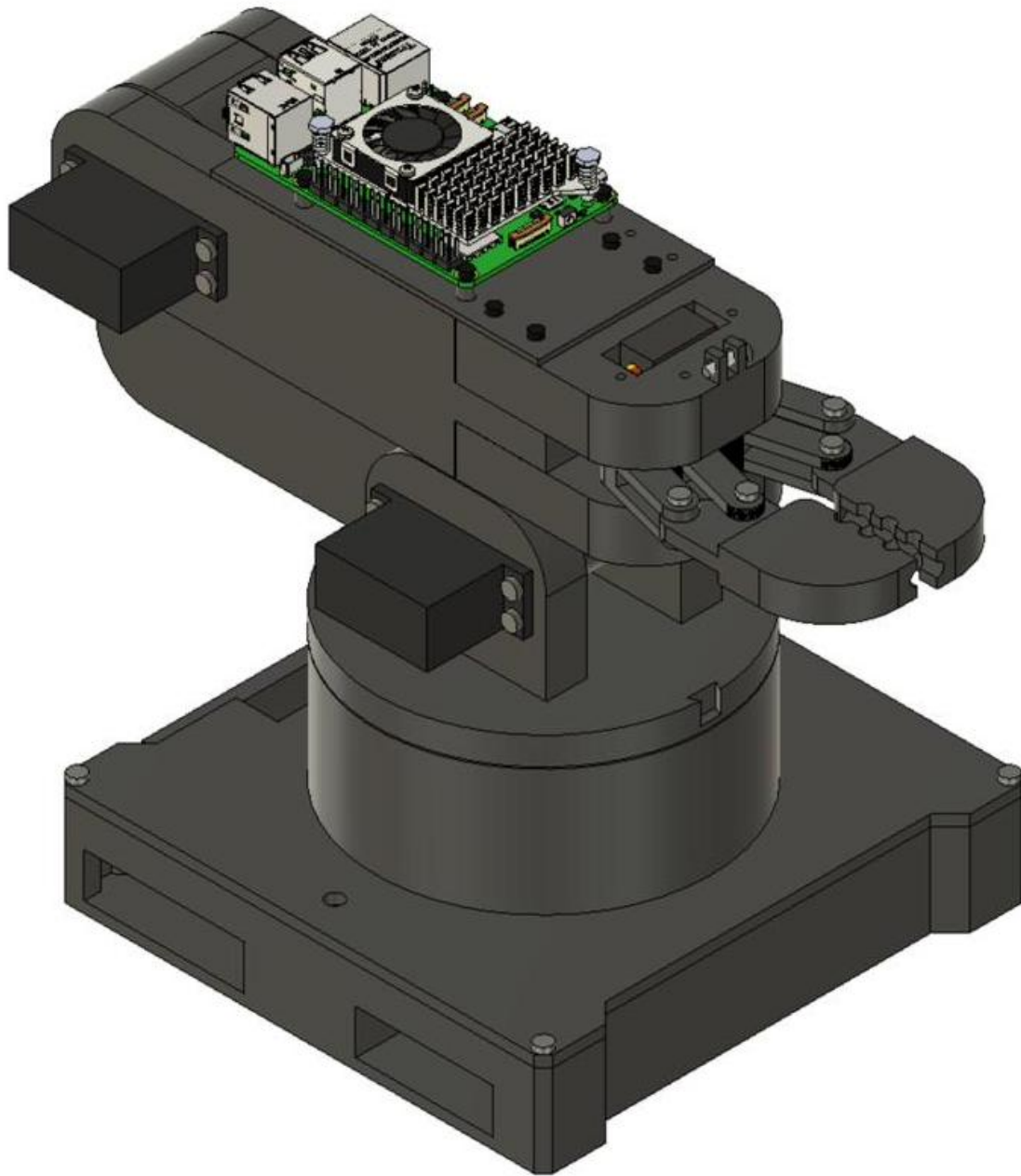


그림 6-71 본체 결합 완료

단계 16 카메라 장착과 배선 정리

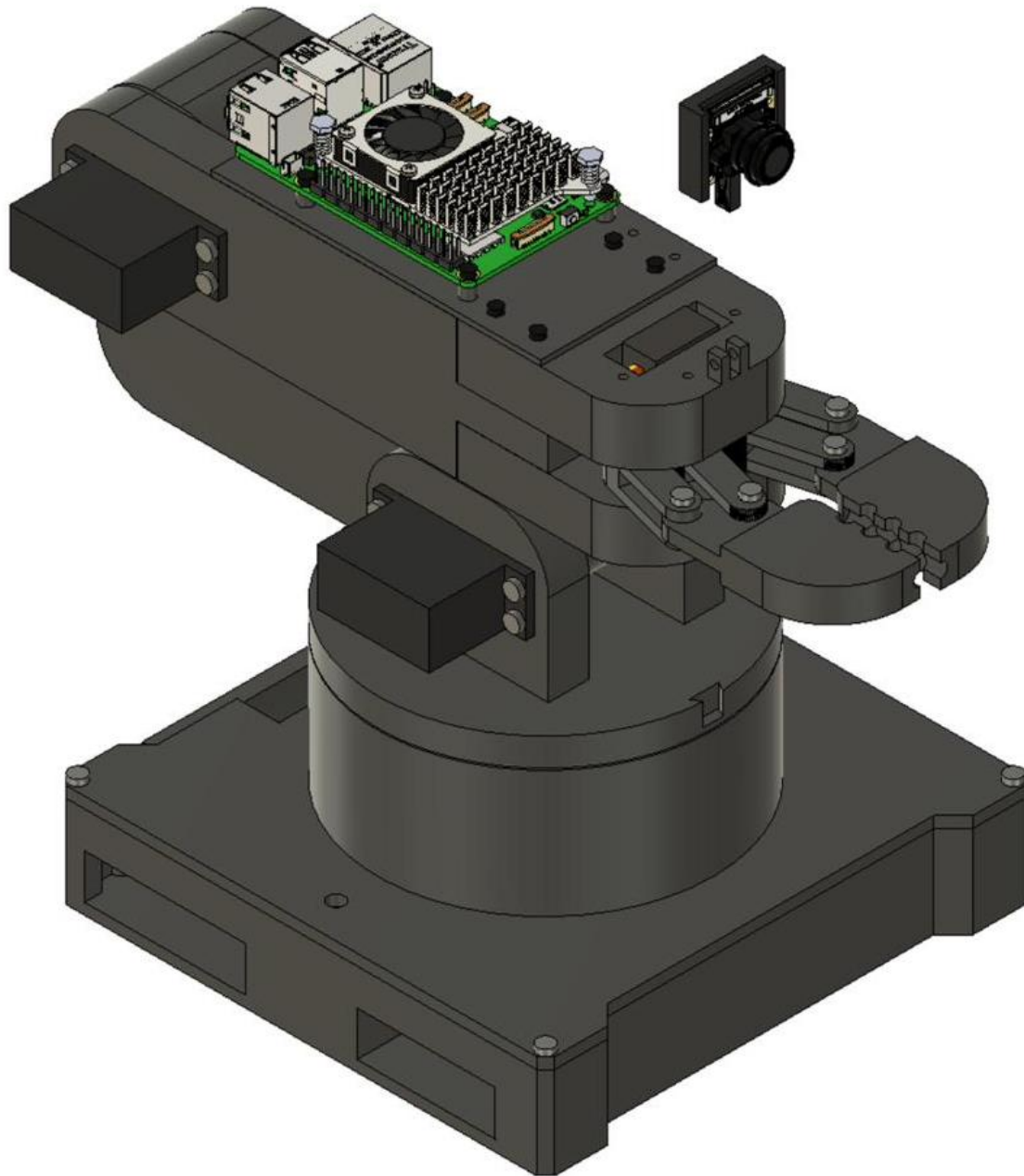


그림 6-72 카메라 결합

카메라 모듈(O)을 카메라 마운트(L)에 미리 넣고, 그리퍼 홀더 탭의 카메라 체결부에 안착시킨다.

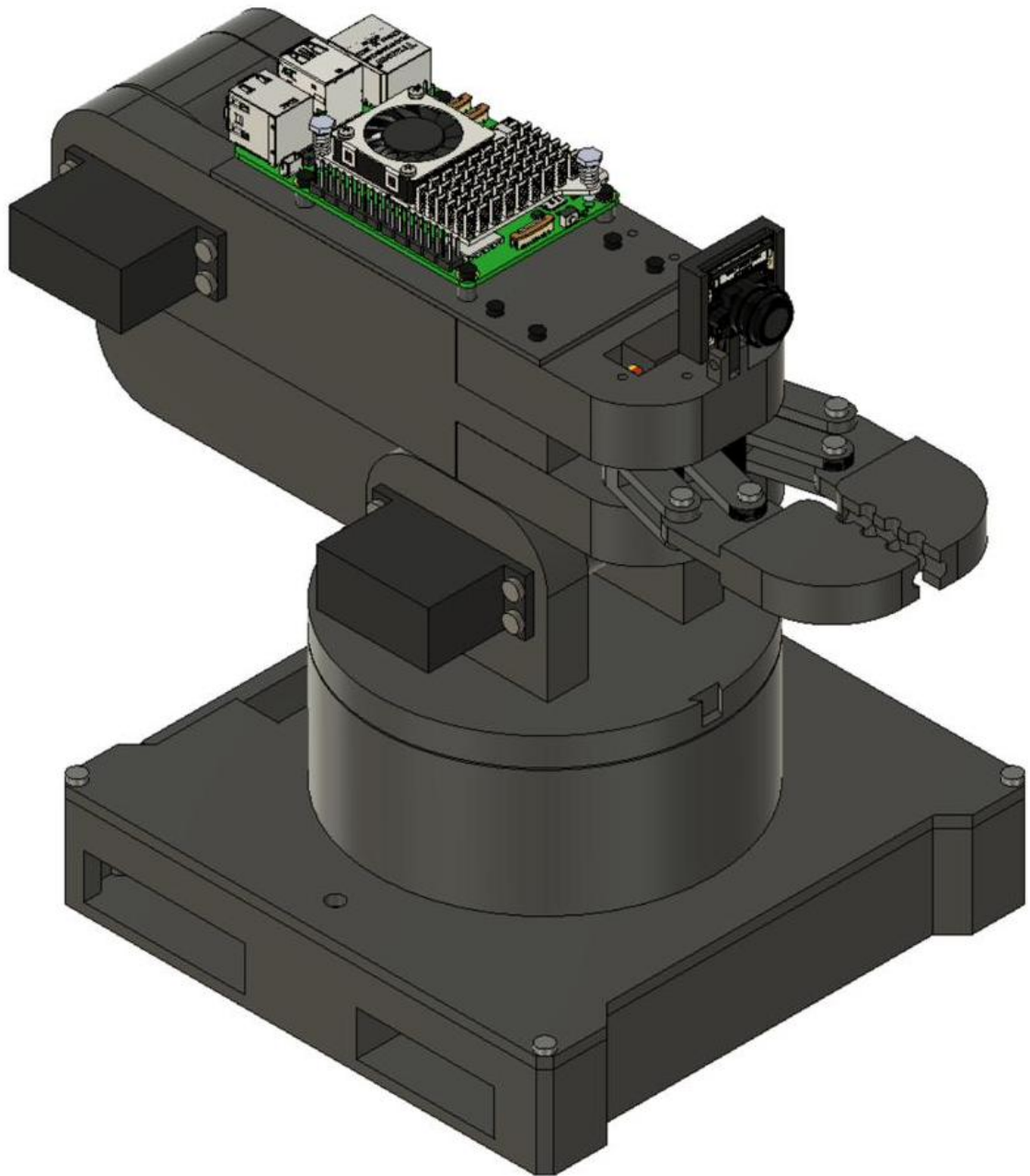


그림 6-73 카메라 마운트 장착

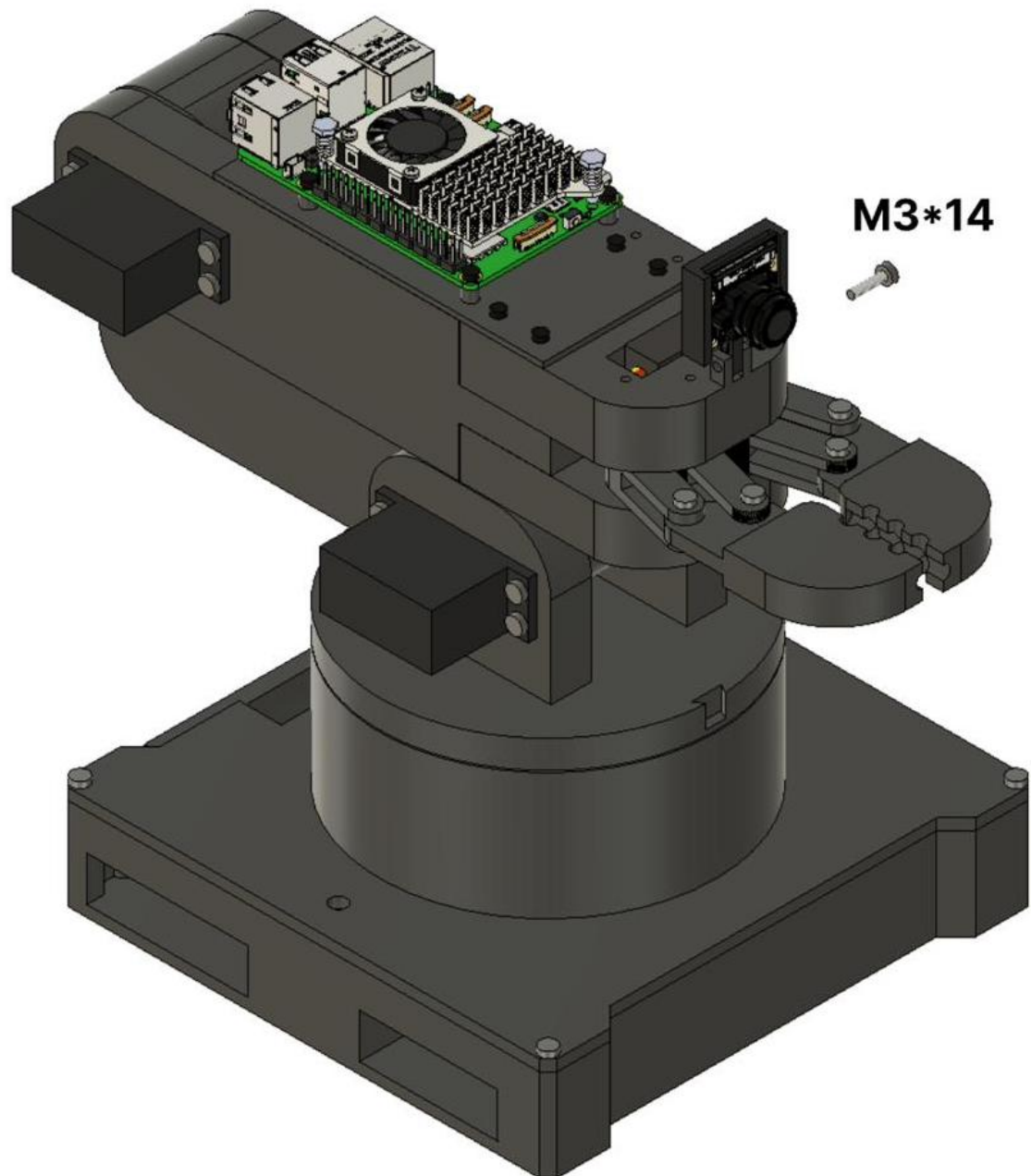


그림 6-74 카메라 마운트 볼트 체결

카메라 마운트와 그리퍼 홀더 탑의 카메라 체결부에 M3×14 볼트(검은색 나사)를 체결하여 완성한다.

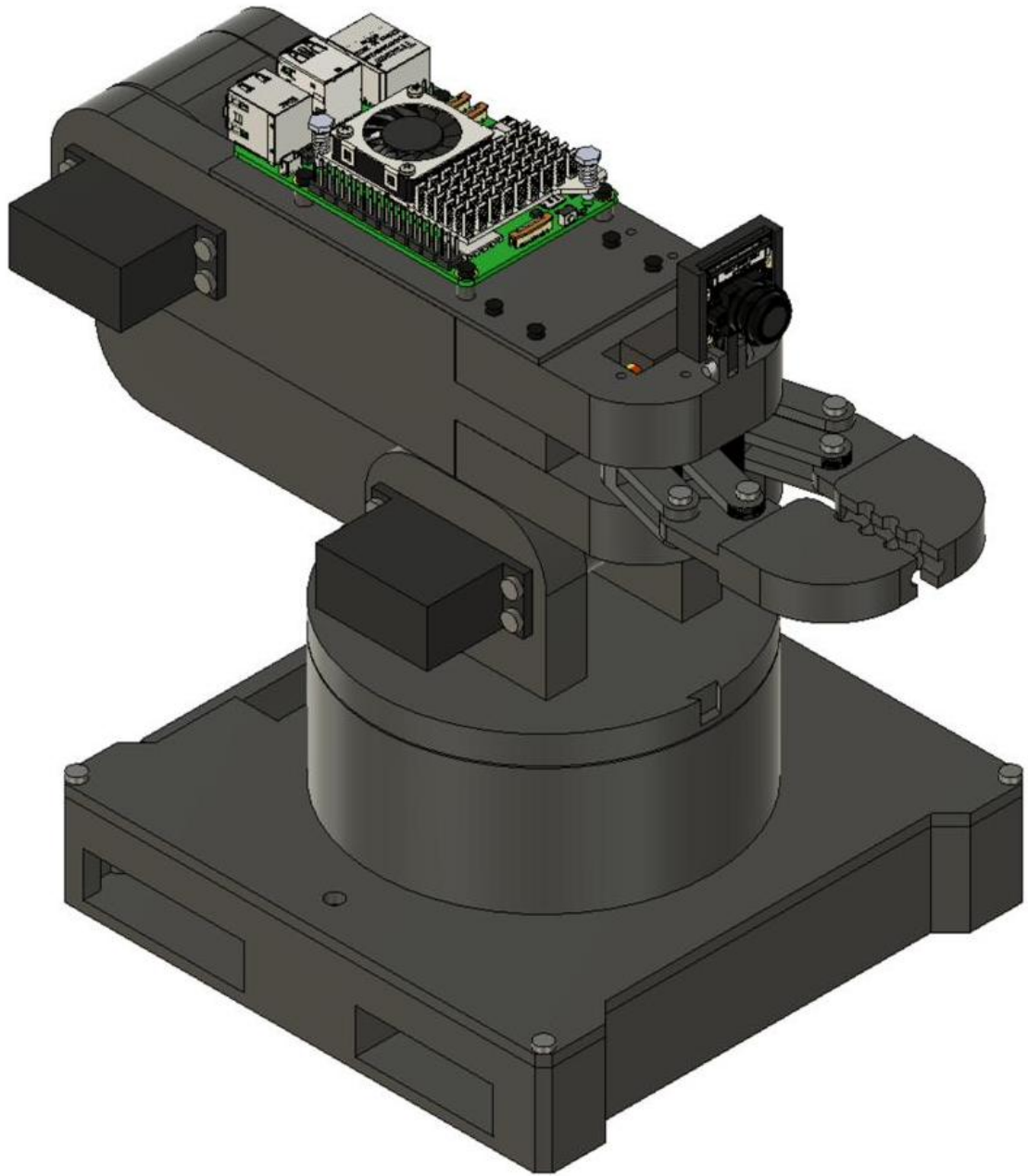


그림 6-75 카메라 장착 완료

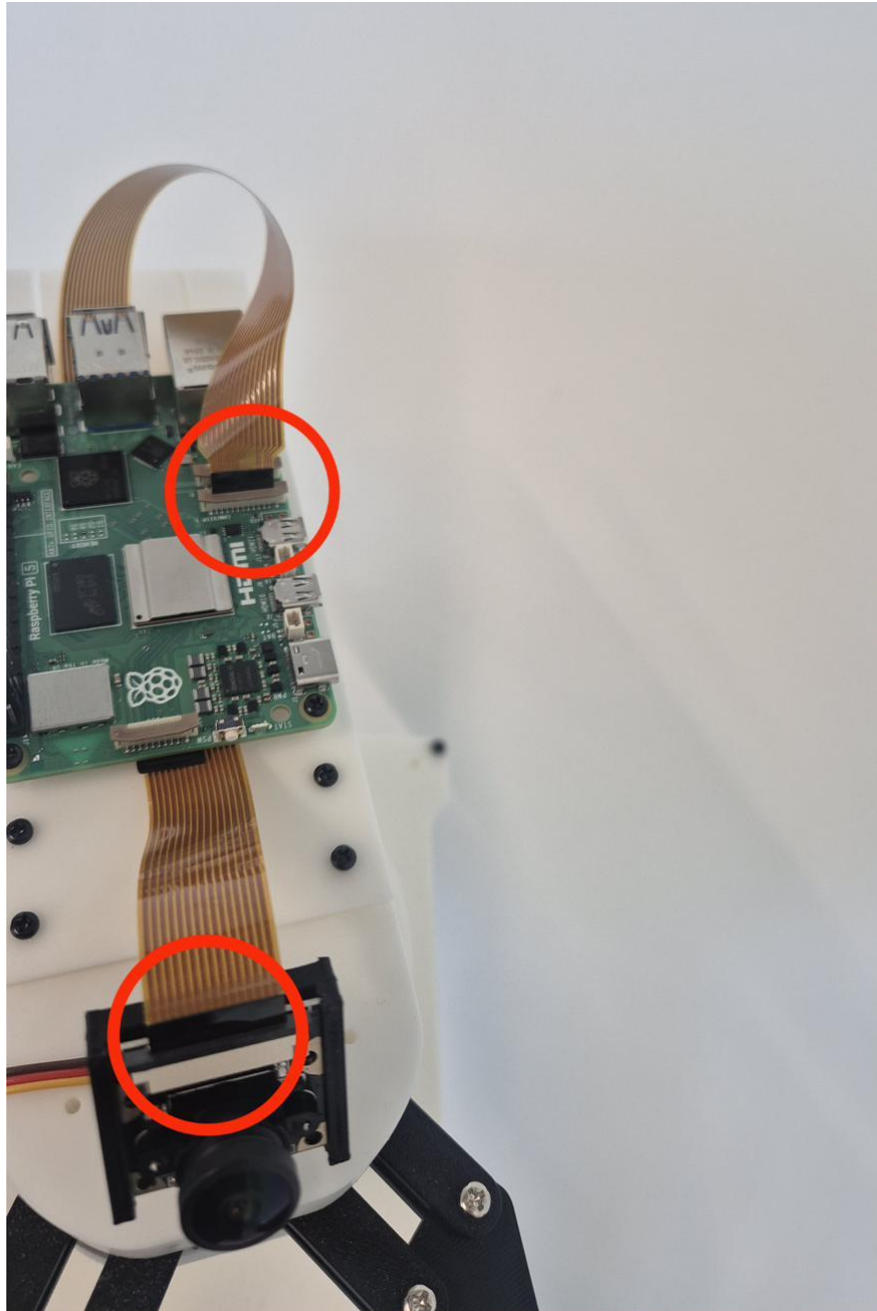


그림 6-76 카메라 케이블 핀 방향

모베드 조립 때와 마찬가지로 카메라 케이블의 핀 방향에 주의한다. 카메라 케이블을 라즈베리 파이 마운트 아래로 지나가도록 배치하면 선이 깔끔하게 정리된다.



그림 6-77 최종 완성

여기까지 마쳤다면 로봇팔 하드웨어 조립이 모두 끝난 것이다. 단, 서보 모터 네 개가 아직 가체
결 상태라는 점을 잊지 말자. 완성된 로봇팔은 다음 시간까지 안전한 곳에 보관한다.

6.5 이번 주 실습 — 조립 상태 최종 점검

이번 주 실습은 조립 그 자체다. 팀별로 16단계 조립을 완료했다면, 다음 시간에 캘리브레이션을 바로 시작할 수 있도록 아래 순서로 조립 상태를 점검한다. 점검 중 이상이 발견되면 해당 단계로 돌아가 바로잡는다.

- **서보 가체결 확인** — 서보 모터 네 개(A·B·C·D 자리)가 모두 가체결 상태인지, 볼트를 과하게 조인 곳은 없는지 확인한다.
- **그리퍼 링크 대칭 확인** — 위에서 내려다보았을 때 그리퍼 링크 양쪽의 벌어진 각도가 동일한지 확인한다(그림 6-43, 6-44).
- **결선 확인** — 서보 케이블 네 개가 드라이버 보드의 올바른 채널에, 배터리 리드선이 GND(검정)와 V+(빨강)에 올바르게 연결되었는지 확인한다(그림 6-17, 6-23).
- **카메라 케이블 방향 확인** — 카메라 쪽과 (다음 장에서 연결할) 라즈베리파이 쪽 모두 핀 방향이 올바른지 확인한다.
- **배선 정리 확인** — 케이블이 관절의 움직임을 방해하지 않도록 정리되어 있는지 확인한다.

■ 이번 주 핵심 정리

- 로봇팔은 베이스·숄더·엘보·그리퍼의 네 관절을 서보 모터 네 개가 각각 담당하는 4자유도 구조다.
- DS35MG-180 서보 모터(U) 세 개는 관절 자리 A·B·C에, MG-90S 서보 모터(V)는 그리퍼 자리 D에 들어가며, PWM 서보 드라이버 보드의 같은 이름 채널에 결선된다.
- 모베드가 GPIO 40핀 전체를 리본 케이블로 연결했던 것과 달리, 로봇팔은 라즈베리파이 GPIO의 일부 핀만 서보 드라이버 보드와 연결한다.
- 서보 전원은 리튬 이온 배터리(2개, 홀더 직렬)가, 라즈베리파이 전원은 보조배터리가 각각 따로 공급한다.
- 서보 모터 네 개는 모두 가체결 상태로 둔다. 다음 장의 캘리브레이션에서 분해와 재조립이 예정되어 있기 때문이다.
- 그리퍼는 서보 한 개의 회전을 링크와 기어로 나누어 전달해 양쪽 집게를 대칭으로 여닫는다. 링크 배치의 좌우 대칭이 어긋나면 파지 동작이 불량해진다.

■ 이해도 점검 질문

1. 이번 장에서 서보 모터를 가체결로만 조립하는 이유는 무엇인가?

2. 채널 A·B·C·D는 각각 로봇팔의 어느 관절에 해당하는가? 그리고 이 A~D가 부품 라벨의 알파벳과 어떻게 다른지 설명해 보자.
3. 그리퍼용 서보로 힘이 좋은 DS35MG-180 대신 작은 MG-90S를 쓴다. 그리퍼 체결 볼트를 너무 세게 조이면 어떤 문제가 생기는가?
4. 배터리 리드선의 검은 선과 빨간 선은 서보 드라이버 보드의 어느 단자에 각각 연결해야 하는가?
5. 그리퍼 링크 한 쌍을 배치할 때 반드시 지켜야 하는 조건은 무엇이며, 지키지 않으면 어떤 문제가 생길지 추측해 보자.

■ 이번 주 점검 체크리스트

- 키트의 부품을 물품 목록과 대조하여 전부 확인했다.
- 카메라 케이블을 검은색 면 방향에 맞게 조립했다.
- SD 카드와 액티브 쿨러를 라즈베리파이5에 장착하고 쿨러 리드선을 연결했다.
- 서보 모터 네 개를 각자의 자리에 가체결 상태로 장착했다.
- 서보 케이블 네 개를 드라이버 보드의 A·B·C·D 채널에 맞춰 결선했다.
- 배터리 리드선을 GND(검정)·V+(빨강)에 올바르게 연결했다.
- 그리퍼 링크를 좌우 대칭으로 배치하고 그리퍼를 장착했다.
- 바텀 챔버에 전장부품을 배치하고 로봇팔 본체와 결합했다.
- 카메라를 장착하고 케이블을 정리하여 최종 완성 상태를 확인했다.

▷ 다음 장 예고

다음 장에서는 가체결 상태로 둔 서보 모터들을 다시 분해하여 기준 각도를 맞추는 서보 캘리브레이션을 진행하고, 로봇팔을 최종 조립한다. 이어서 노트북으로 라즈베리파이에 접속해, 완성된 로봇팔을 처음으로 직접 움직여 본다.