

| 과목 | 담당 교수님 | 학번 | 이름 |
|--------|---------|----------|-----|
| 응용로봇설계 | 김정엽 교수님 | 17100179 | 이진우 |

INDEX

- 1 구동기 선정
- 2 각 관절부 설계
- 3 전체 조립도
- 4 설계 문제점 분석 및 고찰

1. 구동기 선정 - 감속기 선정

| | 최대 토크 (Nm) | 최대 속도 (RPM) | 최대 파워 (Watt) |
|---------|---------------|----------------|-----------------|
| Joint 1 | 14.9535 | 11.9127 | 13.9109 |
| Joint 2 | 10.0584 | 44.5035 | 38.6486 |
| Joint 3 | 0.7407 | 6.8668 | 0.0110 |

먼저, 원하는 경로에 대응하기 위해서 필요한 최대 토크, 최대 속도, 최대 파워는 다음과 같다.

1. 구동기 선정 – 감속기 선정

Joint 1의 최대 토크 : 14.9535Nm

Joint 2의 최대 토크 : 10.0584Nm

■ CSF series

Table 038-2

| Size | Ratio | Rated Torque at 2000rpm | | Limit for Repeated Peak Torque | | Limit for Average Torque | | Limit for Momentary Peak Torque | | Maximum Input Speed (rpm) | | Limit for Average Input Speed (rpm) | | Moment of Inertia | |
|------|-------|-------------------------|------|--------------------------------|------|--------------------------|------|---------------------------------|------|---------------------------|--------|-------------------------------------|--------|------------------------------------|-------------------------------------|
| | | Nm | kgfm | Nm | kgfm | Nm | kgfm | Nm | kgfm | Oil | Grease | Oil | Grease | I $\times 10^{-4} \text{kgm}^2$ | J $\times 10^{-5} \text{kgfm}^2$ |
| 8 | 30 | 0.9 | 0.09 | 1.8 | 0.18 | 1.4 | 0.14 | 3.3 | 0.34 | 14000 | 8500 | 6500 | 3500 | 0.003 | 0.0031 |
| | 50 | 1.8 | 0.18 | 3.3 | 0.34 | 2.3 | 0.24 | 6.6 | 0.67 | | | | | | |
| | 100 | 2.4 | 0.25 | 4.8 | 0.49 | 3.3 | 0.34 | 9.0 | 0.92 | | | | | | |
| 11 | 30 | 2.2 | 0.22 | 4.5 | 0.46 | 3.4 | 0.35 | 8.5 | 0.87 | 14000 | 8500 | 6500 | 3500 | 0.012 | 0.012 |
| | 50 | 3.5 | 0.36 | 8.3 | 0.85 | 5.5 | 0.56 | 17 | 1.7 | | | | | | |
| | 100 | 5.0 | 0.51 | 11 | 1.1 | 8.9 | 0.91 | 25 | 2.6 | | | | | | |
| 14 | 30 | 4.0 | 0.41 | 9.0 | 0.92 | 6.8 | 0.69 | 17 | 1.7 | 14000 | 8500 | 6500 | 3500 | 0.033 | 0.034 |
| | 50 | 5.4 | 0.55 | 18 | 1.8 | 6.9 | 0.70 | 25 | 3.6 | | | | | | |
| | 80 | 7.8 | 0.80 | 23 | 2.4 | 11 | 1.1 | 47 | 4.8 | | | | | | |
| | 100 | 7.8 | 0.80 | 28 | 2.9 | 11 | 1.1 | 54 | 5.5 | | | | | | |

두 값 모두 CSF series unit type 기준, 14 size 30 ratio 하모닉 기어가 적절하다.

1. 구동기 선정 – 감속기 선정

Joint 3의 최대 토크 : 0.7407Nm

| Model No. | Reduction ratio | Rated torque at 2000 r/min input | Permissible peak torque at start and stop | Permissible maximum value for average load torque | Permissible maximum momentary torque | Permissible maximum input rotational speed (Grease lubricant) |
|-----------|-----------------|----------------------------------|---|---|--------------------------------------|---|
| | | N·m | N·m | N·m | N·m | r/min |
| 5 | 30 | 0.25 | 0.5 | 0.38 | 0.9 | 10000 |
| | 50 | 0.4 | 0.9 | 0.53 | 1.8 | |
| | 100 | 0.6 | 1.4 | 0.94 | 2.7 | |

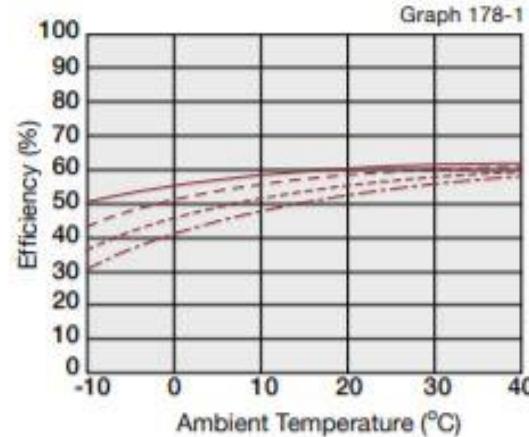
필요한 최대 토크가 낮은 Joint3는
CSF mini series unit type 기준, 5size 30 ratio 하모닉 기어가 적절하다.

1. 구동기 선정 - 감속기 선정

■ Efficiency at rated torque

Size 5

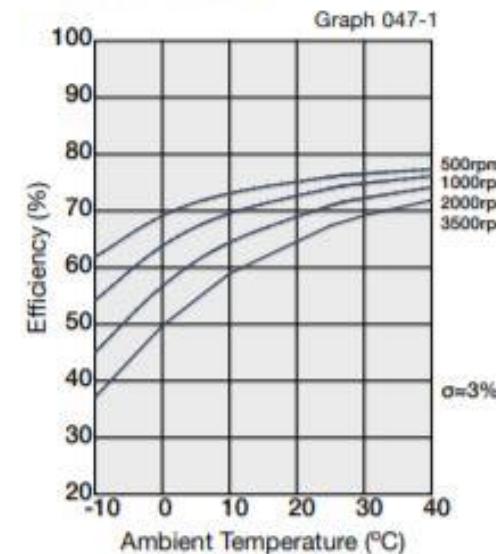
Ratio 30



■ Efficiency at rated torque

Size: 8, 11, 14

Reduction ratio 30



Joint 1,2,3의 효율은 각각 0.77, 0.75, 0.55으로 보자.

1. 구동기 선정 – 모터 1 선정

$$\text{Required Motor Torque} = 14.9535 / (30 \times 1.5) / 0.77 = 0.4315\text{Nm}$$

Nominal Voltage = 24V

1번 관절은 필요로 하는 토크가 상대적으로 크기 때문에 1:1.5 비율의 풀리/벨트를 달아 준다.

풀리/벨트가 없을 때 : Required Motor Torque = $14.9535 / 30 / 0.77 = 0.64725\text{Nm}$

$(0.02\text{Nm/A} \sim 0.03\text{Nm/A}) \times \text{Nominal Current} \times 3 > 0.4315\text{Nm}$ 을 만족해야 한다.

Nominal Current = 7.19264A ~ 10.789A

$$\text{Rated Power} = 24\text{V} \times (7.19264\text{A} \sim 10.789\text{A}) \times 0.85 = 146.73\text{W} \sim 220.096\text{W}$$

1차 선정 Maxon RE50 200W



1. 구동기 선정 – 모터 1 선정

Maxon RE50 200W

Torque Constant x Nominal Current x 3

$$38.5 \text{ mNm/A} \times 10.8 \text{ A} \times 3 = 1.1599 \text{ Nm} > 0.4315 \text{ Nm}$$



Power Max = 1.2 x Rated Power

$$1.2 \times 24 \text{ V} \times 10.8 \text{ A} \times 0.85 = 264.384 \text{ W}$$

견뎌야 하는 최대 파워/감속기 효율 = $13.9019 / 0.77 = 16.883 \text{ W}$

$$264.384 \text{ W} > 16.883 \text{ W}$$



Nominal Speed = 5680RPM

견뎌야 하는 최대 속도 x 감속비 = $11.9127 \text{ RPM} \times 30 \times 1.5 = 569.072 \text{ RPM}$

$$5680 \text{ RPM} > 570 \text{ RPM}$$



Motor Data

Values at nominal voltage

| | | |
|---|-----|------|
| 1 Nominal voltage | V | 24 |
| 2 No load speed | rpm | 5950 |
| 3 No load current | mA | 236 |
| 4 Nominal speed | rpm | 5680 |
| 5 Nominal torque (max. continuous torque) | mNm | 405 |
| 6 Nominal current (max. continuous current) | A | 10.8 |
| 7 Stall torque | mNm | 8920 |
| 8 Stall current | A | 232 |
| 9 Max. efficiency | % | 94 |

Characteristics

| | | |
|-----------------------------|------------------|-------|
| 10 Terminal resistance | Ω | 0.103 |
| 11 Terminal inductance | mH | 0.072 |
| 12 Torque constant | mNm/A | 38.5 |
| 13 Speed constant | rpm/V | 248 |
| 14 Speed/torque gradient | rpm/mNm | 0.668 |
| 15 Mechanical time constant | ms | 3.75 |
| 16 Rotor inertia | gcm ² | 536 |

Maxon RE50 200W

무게 : 1100g

조건을 전부 만족하나 무게가 1100g으로
많이 무거운 편이다. 따라서 좀 더 가벼운
모터를 찾아 보았다.

1. 구동기 선정 – 모터 1 선정

Maxon RE40 150W



Torque Constant x Nominal Current x 3

$$30.2 \text{mNm/A} \times 6 \text{A} \times 3 = 0.5436 \text{Nm} > 0.4315 \text{Nm}$$



< 0.64725Nm (풀리/벨트가 없을 때)

Power Max = 1.2 x Rated Power

$$1.2 \times 24 \text{V} \times 6 \text{A} \times 0.85 = 146.88 \text{W}$$

견뎌야 하는 최대 파워/감속기 효율 = $13.9019 / 0.77 = 16.883 \text{W}$

$146.88 \text{W} > 16.883 \text{W}$



Nominal Speed = 7580RPM

$$\text{견뎌야 하는 최대 속도} \times \text{감속비} = 11.9127 \text{RPM} \times 30 \times 1.5 = 569.072 \text{RPM}$$

$7580 \text{RPM} > 570 \text{RPM}$



Motor Data

Values at nominal voltage

| | | | |
|---|-----|------|------|
| 1 Nominal voltage | V | 12 | 24 |
| 2 No load speed | rpm | 6920 | 7580 |
| 3 No load current | mA | 241 | 137 |
| 4 Nominal speed | rpm | 6380 | 6940 |
| 5 Nominal torque (max. continuous torque) | mNm | 94.9 | 177 |
| 6 Nominal current (max. continuous current) | A | 6 | 6 |
| 7 Stall torque | mNm | 1720 | 2420 |
| 8 Stall current | A | 105 | 80.2 |
| 9 Max. efficiency | % | 88 | 91 |

Characteristics

| | | | |
|-----------------------------|------------------|-------|-------|
| 10 Terminal resistance | Ω | 0.115 | 0.299 |
| 11 Terminal inductance | mH | 0.024 | 0.082 |
| 12 Torque constant | mNm/A | 16.4 | 30.2 |
| 13 Speed constant | rpm/V | 581 | 317 |
| 14 Speed/torque gradient | rpm/mNm | 4.05 | 3.14 |
| 15 Mechanical time constant | ms | 5.89 | 4.67 |
| 16 Rotor inertia | gcm ² | 139 | 142 |

Maxon RE40 150W

무게 : 480g

1.5:1 비율의 풀리/벨트를 사용해서
토크의 문제를 해결하였고, 그 이외의
조건을 전부 만족하니 무게가 훨씬
가벼운 Maxon RE40모델이 더 적합하다.

1. 구동기 선정 – 모터 2 선정

Required Motor Torque = $10.0584 / 30 / 0.75 = 0.4470\text{Nm}$

Nominal Voltage = 24V

$(0.02\text{Nm/A} \sim 0.03\text{Nm/A}) \times \text{Nominal Current} \times 3 > 0.4470\text{Nm}$ 을 만족해야 한다.

Nominal Current = 4.966A ~ 7.45A

Rated Power = $24\text{V} \times (4.966\text{A} \sim 7.45\text{A}) \times 0.85 = 101.32\text{W} \sim 151.98\text{W}$

1차 선정 Maxon RE40 150W



1. 구동기 선정 – 모터 2 선정

Maxon RE40 150W

Torque Constant x Nominal Current x 3

$$30.2 \text{mNm/A} \times 6\text{A} \times 3 = 0.5436\text{Nm} > 0.4470\text{Nm}$$


Power Max = 1.2 x Rated Power

$$1.2 \times 24\text{V} \times 6\text{A} \times 0.85 = 146.88\text{W}$$

견뎌야 하는 최대 파워/감속기 효율 = $38.6486/0.75 = 51.5315\text{W}$

$$146.88\text{W} > 51.5315\text{W}$$


Nominal Speed = 7580RPM

$$\text{견뎌야 하는 최대 속도} \times \text{감속비} = 44.5035\text{RPM} \times 30 = 1335.11\text{RPM}$$

$$7580\text{RPM} > 1335.11\text{RPM}$$


Motor Data

Values at nominal voltage

| | | | |
|---|-----|------|------|
| 1 Nominal voltage | V | 12 | 24 |
| 2 No load speed | rpm | 6920 | 7580 |
| 3 No load current | mA | 241 | 137 |
| 4 Nominal speed | rpm | 6380 | 6940 |
| 5 Nominal torque (max. continuous torque) | mNm | 94.9 | 177 |
| 6 Nominal current (max. continuous current) | A | 6 | 6 |
| 7 Stall torque | mNm | 1720 | 2420 |
| 8 Stall current | A | 105 | 80.2 |
| 9 Max. efficiency | % | 88 | 91 |

Characteristics

| | | | |
|-----------------------------|------------------|-------|-------|
| 10 Terminal resistance | Ω | 0.115 | 0.299 |
| 11 Terminal inductance | mH | 0.024 | 0.082 |
| 12 Torque constant | mNm/A | 16.4 | 30.2 |
| 13 Speed constant | rpm/V | 581 | 317 |
| 14 Speed/torque gradient | rpm/mNm | 4.05 | 3.14 |
| 15 Mechanical time constant | ms | 5.89 | 4.67 |
| 16 Rotor inertia | gcm ² | 139 | 142 |

Maxon RE40 150W

무게 : 480g

전부 만족하므로 두번째 모터도

Maxon RE40 150W를 사용한다.

1. 구동기 선정 – 모터 3 선정

Required Motor Torque = $0.7407 / (30) / 0.55 = 0.0449\text{Nm}$

Nominal Voltage = 24V

($0.02\text{Nm/A} \sim 0.03\text{Nm/A}$) \times Nominal Current $\times 3 > 0.0449\text{Nm}$ 을 만족해야 한다.

Nominal Current = $0.4989\text{A} \sim 0.7482\text{A}$

Rated Power = $24\text{V} \times (0.4989\text{A} \sim 0.7482\text{A}) \times 0.85 = 10.1776\text{W} \sim 15.2633\text{W}$



1차 선정 Maxon RE 25

1. 구동기 선정 – 모터 3 선정

1차 선정 Maxon RE 25

Torque Constant x Nominal Current x 3

$$23.4 \text{mNm/A} \times 1.16 \text{A} \times 3 = 0.0814 \text{Nm} > 0.0449 \text{Nm}$$



Power Max = 1.2 x Rated Power

$$1.2 \times 24 \text{V} \times 1.16 \text{A} \times 0.85 = 28.3968 \text{W}$$

무게 : 130g

$$\text{견뎌야 하는 최대 파워/감속기 효율} = 0.0110 / 0.55 = 0.02 \text{W}$$



$$28.3968 \text{W} > 0.02 \text{W}$$

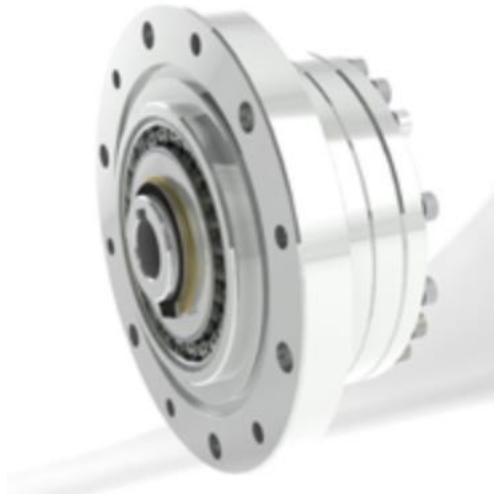
Nominal Speed = 8330RPM

$$\text{견뎌야 하는 최대 속도} \times \text{감속비} = 6.8668 \text{RPM} \times 30 = 206.004 \text{RPM}$$



$$8330 \text{RPM} > 206.004 \text{RPM}$$

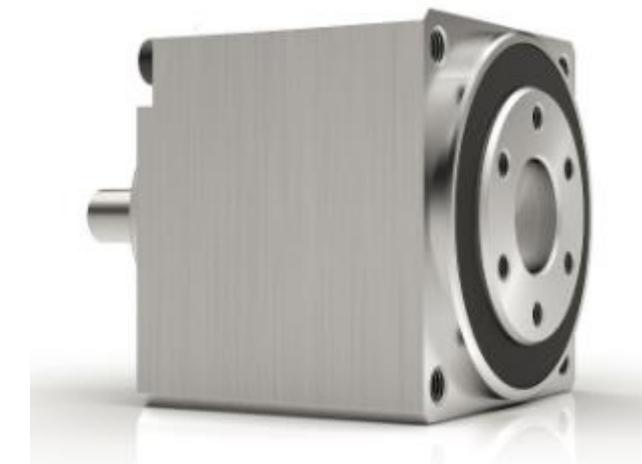
| Motor Data | | short length 15.7 shortened to 4 mm | 302002 | 302003 | 302004 | 302005 |
|---|----------------|-------------------------------------|--------|--------|--------|--------|
| Values at nominal voltage | | | | | | |
| 1 Nominal voltage | V | 9 | 15 | 18 | 24 | |
| 2 No load speed | rpm | 10000 | 9660 | 10200 | 9560 | |
| 3 No load current | mA | 110 | 60.8 | 53.9 | 36.9 | |
| 4 Nominal speed | rpm | 8970 | 8430 | 8850 | 8330 | |
| 5 Nominal torque (max. continuous torque) | mNm | 11.1 | 20.5 | 22.9 | 26.3 | |
| 6 Nominal current (max. continuous current) | A | 1.5 | 1.5 | 1.46 | 1.16 | |
| 7 Stall torque | mNm | 232 | 225 | 220 | 243 | |
| 8 Stall current | A | 29.1 | 15.8 | 13.5 | 10.4 | |
| 9 Max. efficiency | % | 76 | 82 | 83 | 85 | |
| Characteristics | | | | | | |
| 10 Terminal resistance | Ω | 0.309 | 0.952 | 1.33 | 2.32 | |
| 11 Terminal inductance | mH | 0.028 | 0.088 | 0.115 | 0.238 | |
| 12 Torque constant | mNm/A | 7.96 | 14.3 | 16.3 | 23.4 | |
| 13 Speed constant | rpm/V | 1200 | 670 | 586 | 408 | |
| 14 Speed/torque gradient | rpm/mNm | 46.5 | 44.7 | 48 | 40.3 | |
| 15 Mechanical time constant | ms | 5.68 | 4.87 | 4.77 | 4.55 | |
| 16 Rotor inertia | gcm^2 | 11.7 | 10.4 | 9.49 | 10.8 | |



CSF-14-30-2UH



CSF-14-30-2UH-LW



CSF-5-30-1U-F



Maxon RE 40 - 148867



Maxon RE 25 - 118752

1. 구동기 선정 - 정리 표

하모닉 기어 선정

| | 최대 토크(Nm) | 최대 속도(RPM) | 최대 파워(W) | 하모닉 기어 명 | 형번 | 기어비 | 토크 범위(Nm) | 효율 | 풀리 비 |
|---------|-----------|------------|----------|------------------|----|-----|-----------|------|------|
| Joint 1 | 14.9535 | 11.9127 | 13.9109 | CSF-14-30-2UH | 14 | 30 | 9.0~17 | 0.77 | 1.5 |
| Joint 2 | 10.0584 | 44.5035 | 38.6486 | CSF-14-30-2UH-LW | 14 | 30 | 9.0~17 | 0.75 | 1 |
| Joint 3 | 0.7407 | 6.8668 | 0.011 | CSF-5-30-1U-F | 5 | 30 | 0.5~0.9 | 0.55 | 1 |

모터 선정 과정

| 요구토크(Nm) | 최소공칭전류(A) 범위(24V기준) | 최소일률(W) 범위 | 최대 견디는 토크(Nm) | 최대 파워(W) | 최대공칭RPM |
|----------|---------------------|-------------------|---------------|----------|---------|
| 0.4315 | 7.19264 ~ 10.789 | 146.73 ~ 220.096 | 0.4315 | 16.883 | 569.072 |
| 0.447 | 4.966 ~ 7.45 | 101.32 ~ 151.98 | 0.447 | 51.5315 | 1335.11 |
| 0.0449 | 0.4989 ~ 0.7482 | 10.1776 ~ 15.2633 | 0.0449 | 0.02 | 206.004 |

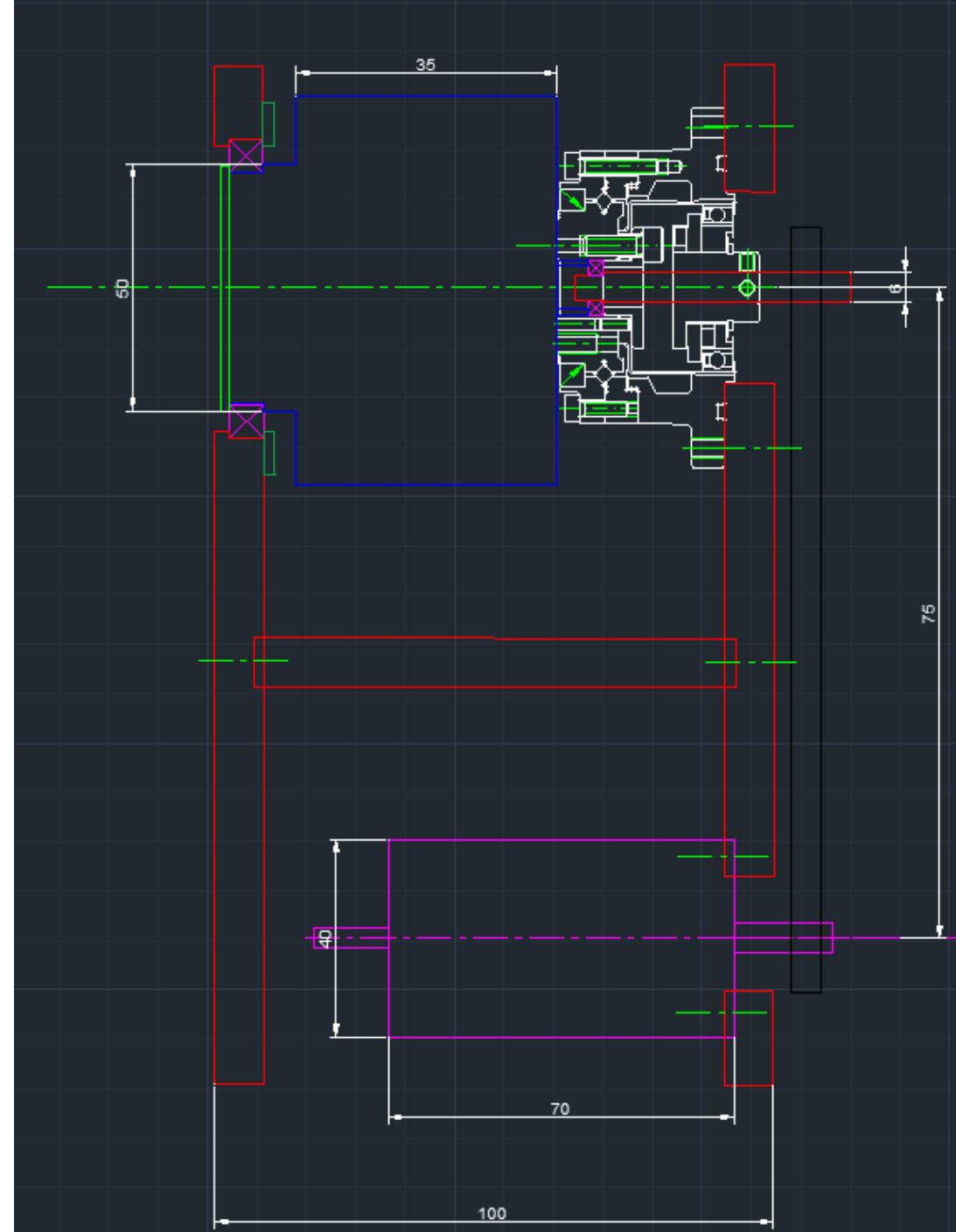
최종 선정 모터

| 모터명 | 제품번호 | 일률(W) | 정격전압(V) | 정격전류(A) | 토크상수(mNm/A) | 최대 견디는 토크(Nm) | 정격RPM | 무게(g) |
|-------------|--------|-------|---------|---------|-------------|---------------|-------|-------|
| Maxon RE 40 | 148867 | 150 | 24 | 6 | 30.2 | 0.5436 | 7580 | 480 |
| Maxon RE 40 | 148867 | 150 | 24 | 6 | 30.2 | 0.5436 | 7580 | 480 |
| Maxon RE 25 | 118752 | 20 | 24 | 1.16 | 23.4 | 0.0814 | 8330 | 130 |

2. 각 관절부 설계 – 2D 개념 조립도

Link1 & Link2

Link1 과 link2는 같은 모터(Maxon RE 40)를 사용하고, 하모닉기어도 CSF-14-30-2UH와 CSF-14-30-2UH-LW로 무게만 다르고 그 형태가 같다. 도면 상에서 축이 하모닉 기어 내부에 있는 베어링 하나로만 지탱되어 있는 것으로 보여지는데, 풀리 바깥쪽에 추가로 지지해주어 베어링 2개를 이용해 축을 지탱할 예정이다

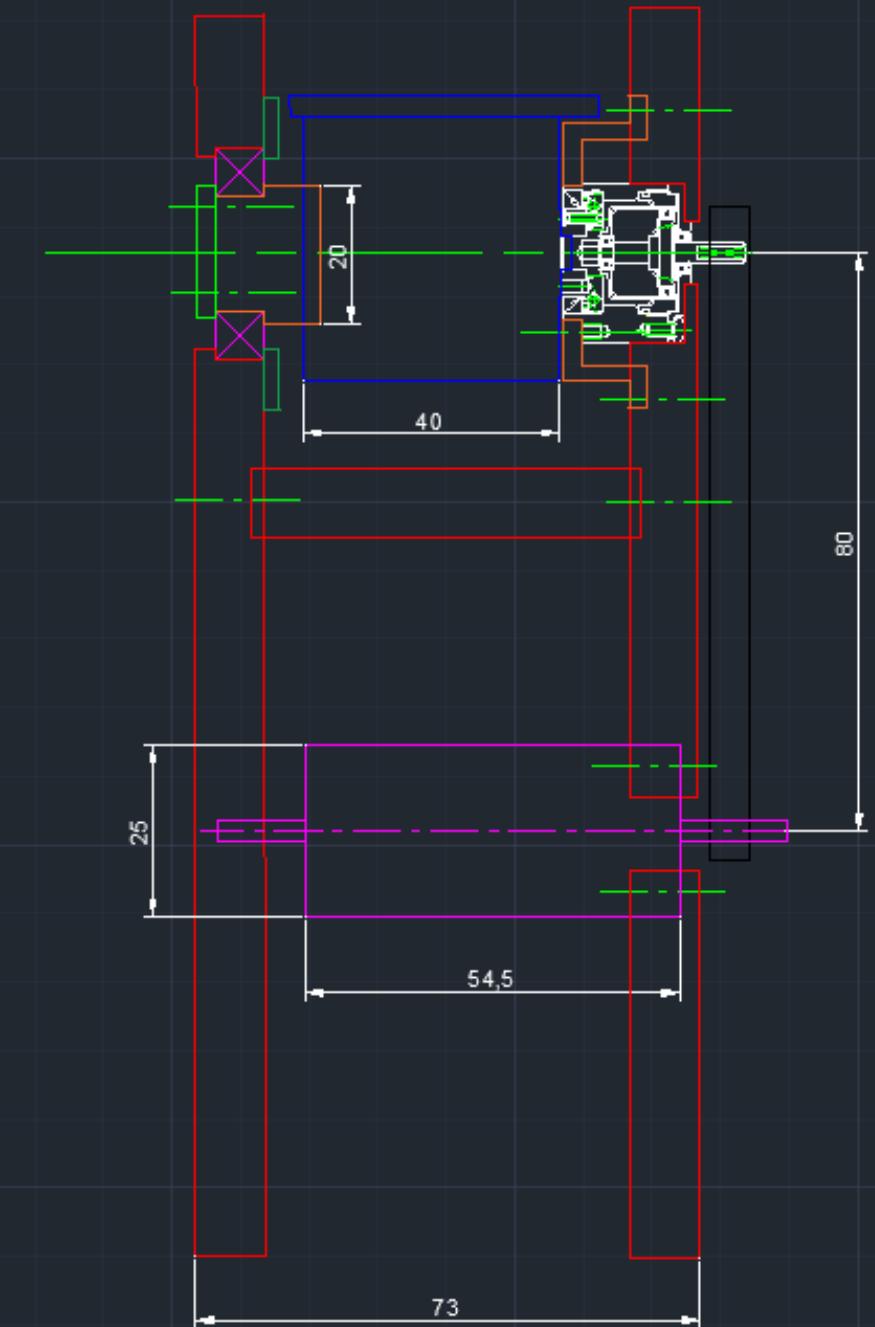


2. 각 관절부 설계 – 2D 개념 조립도

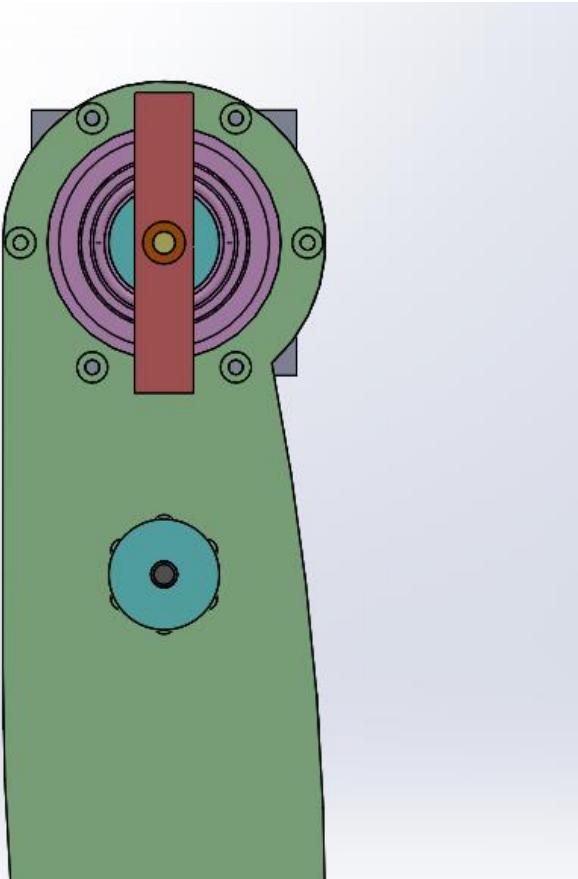
Link3

Link3는 link1,2에 비해 움직임이 작고, 필요한 토크도 적으니 더 컴팩트하게 만들 수 있다.

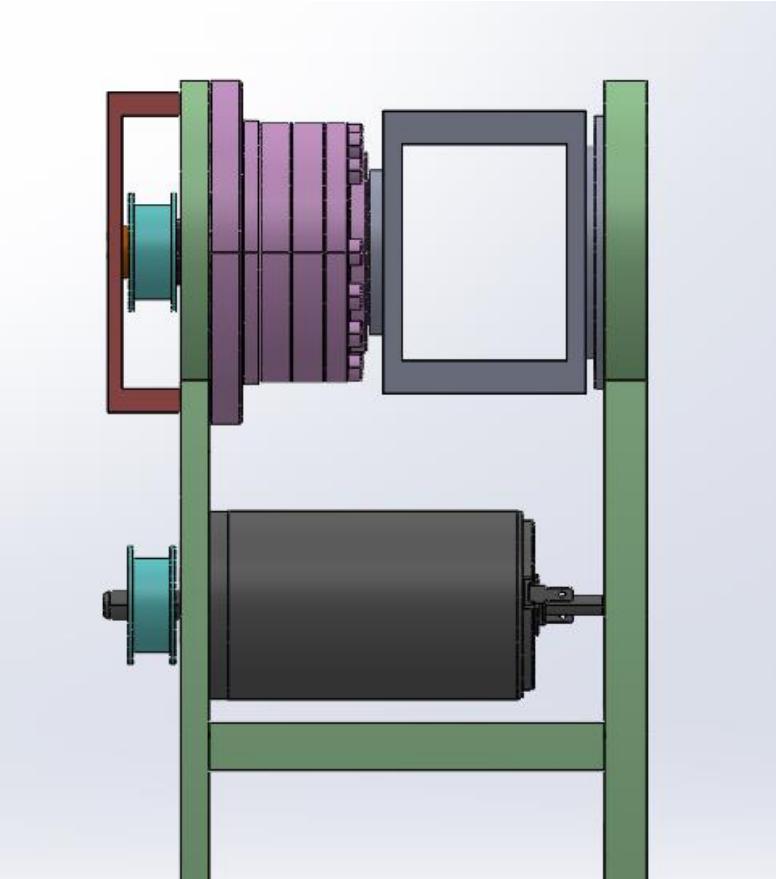
하모닉 기어 CSF-5-30-1U-F는 input축이 달려 있어 추가적으로 축을 만들 필요가 없다. 대신 결합부가 뒤쪽에 있어 지지대를 따로 만들어주어야 한다.



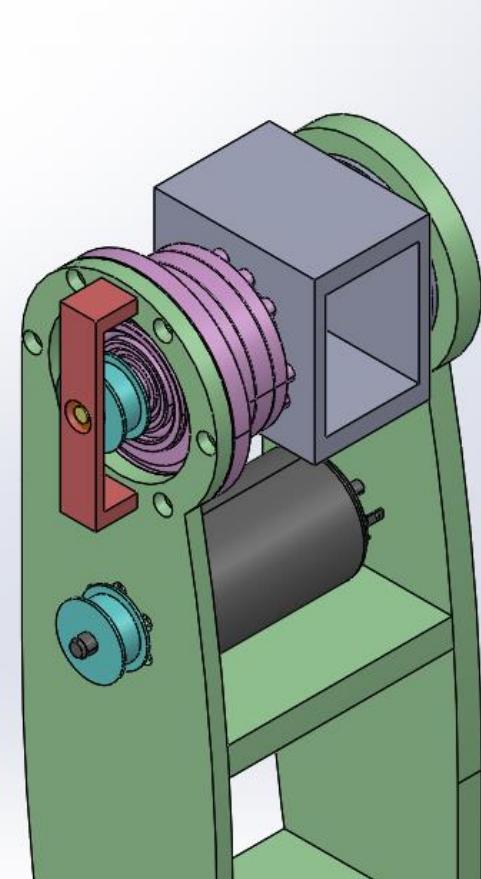
2. 각 관절부 설계 – Link1, Link2



측면도

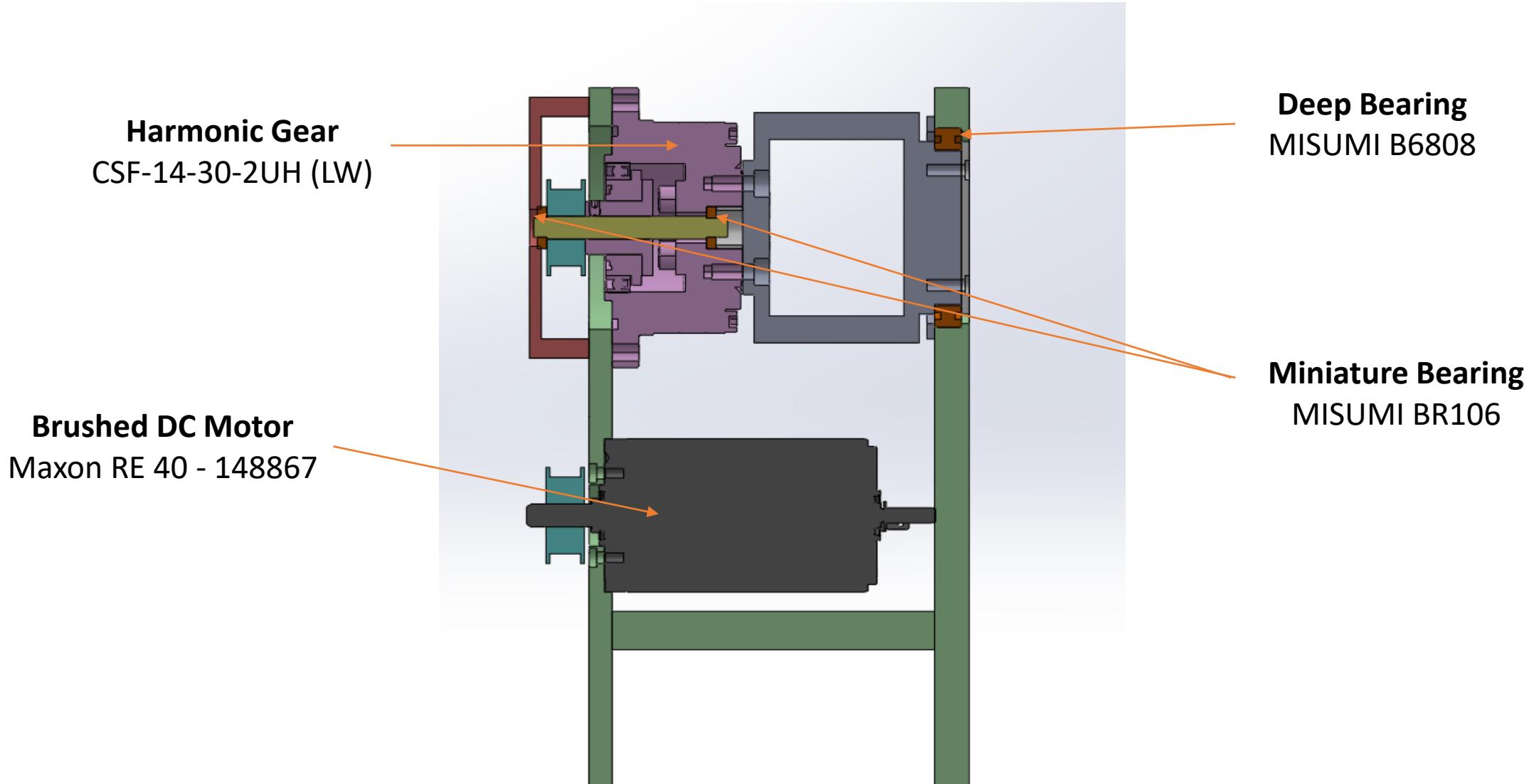


정면도

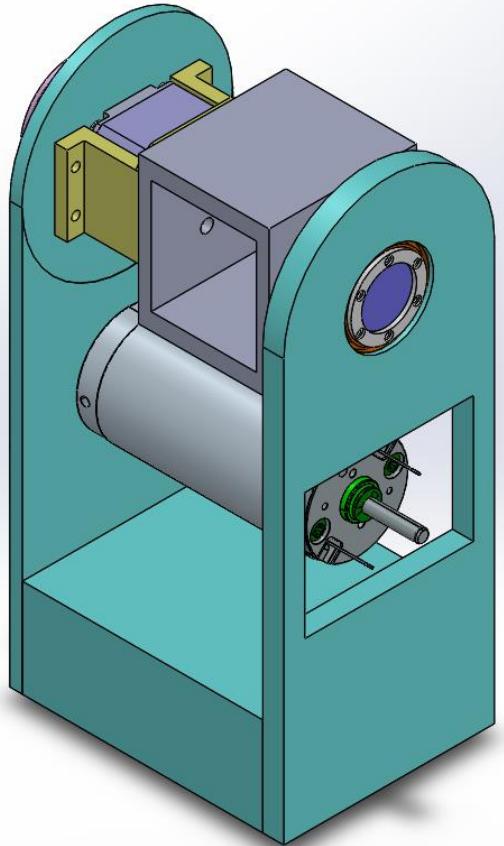


등각도

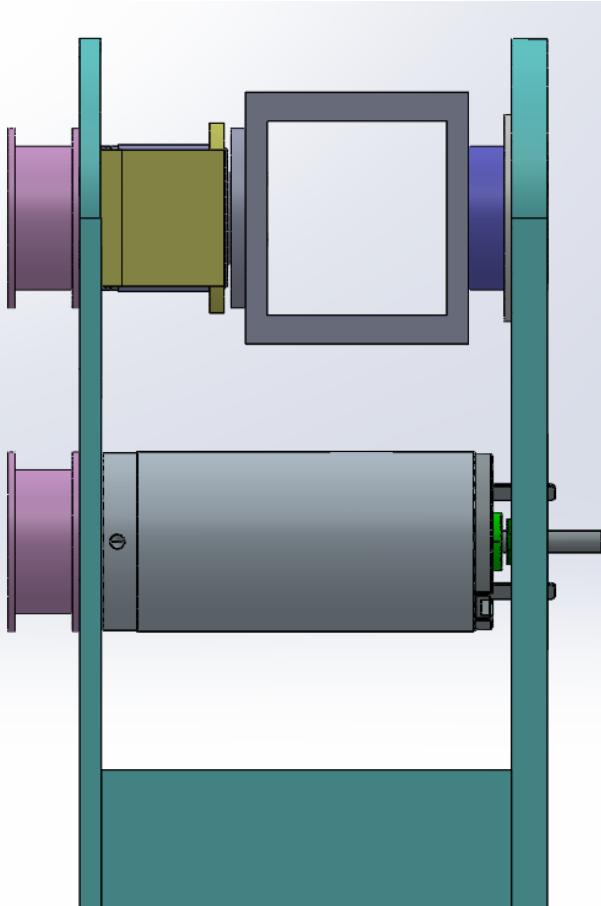
2. 각 관절부 설계 – Link1, Link2



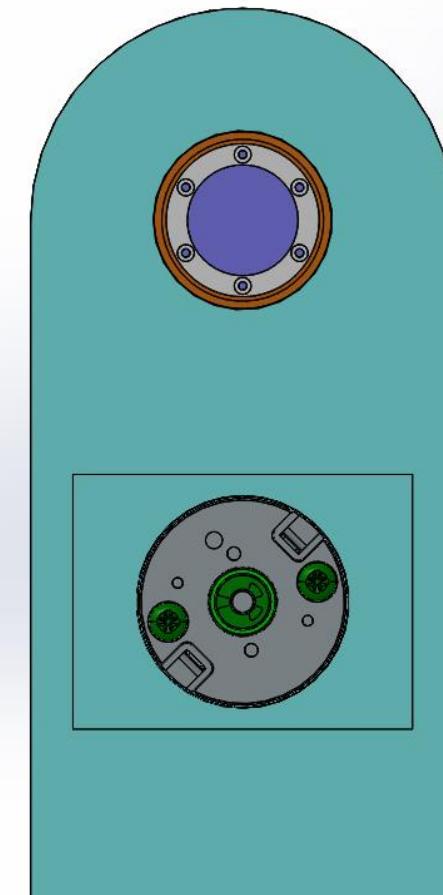
2. 각 관절부 설계 – Link3



등각도

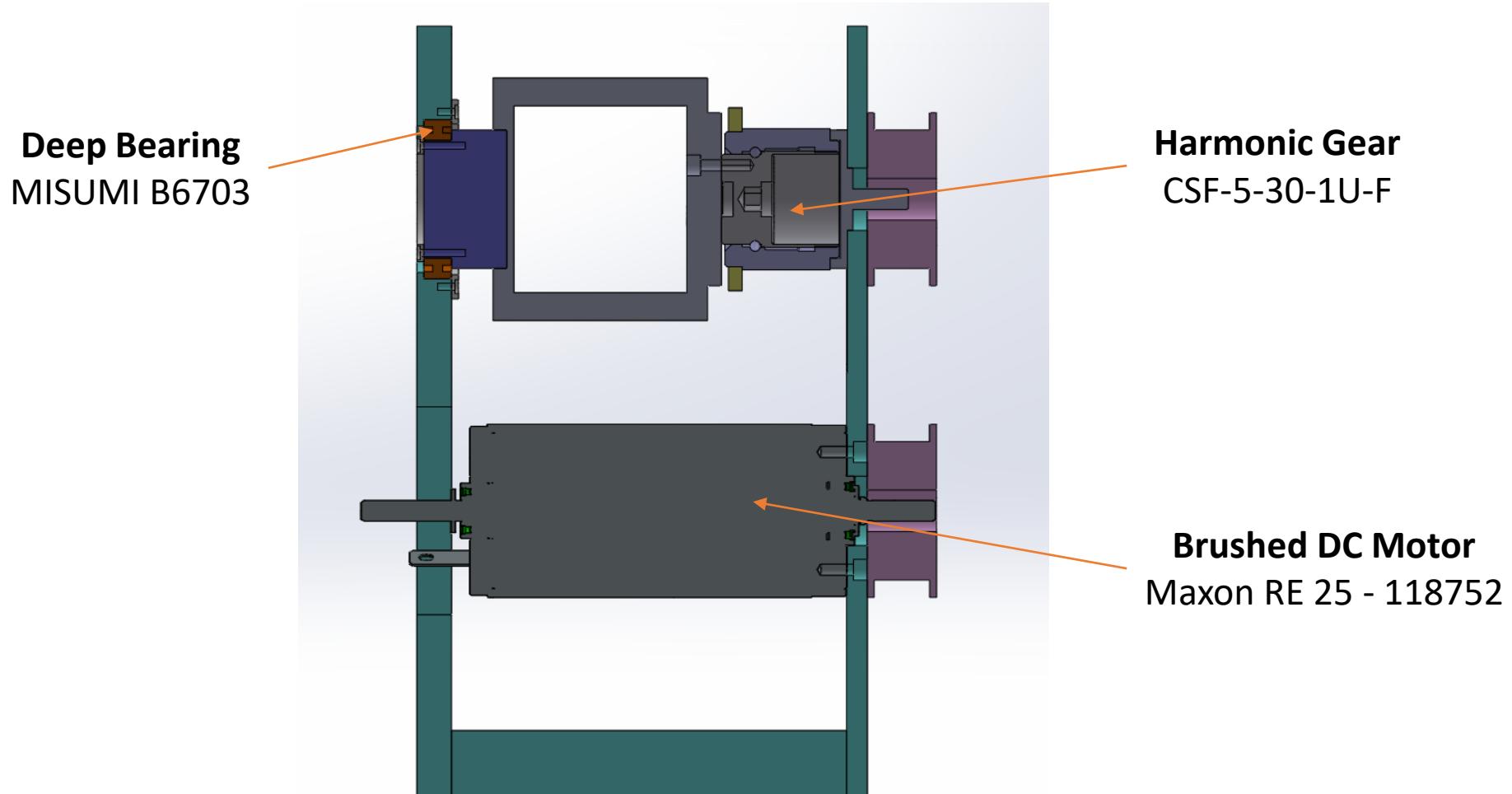


정면도

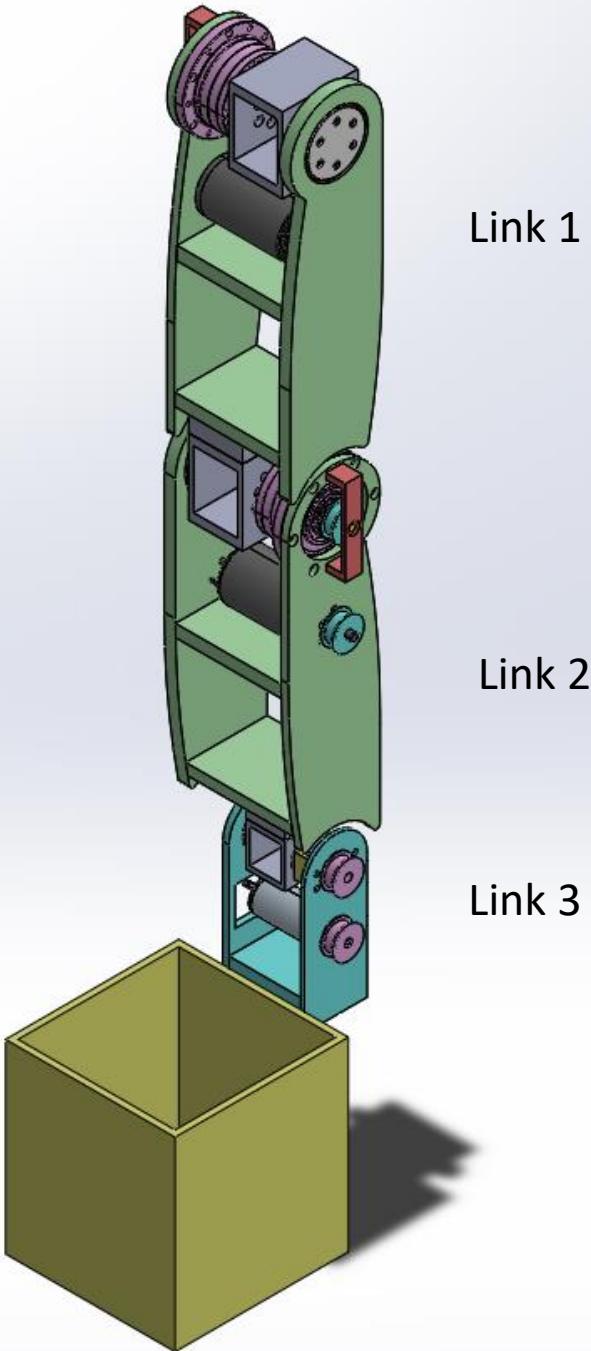


측면도

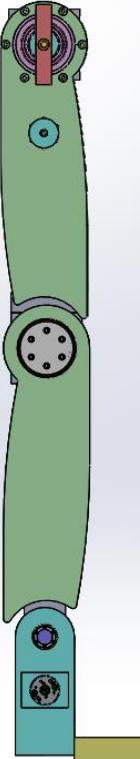
2. 각 관절부 설계 – Link3



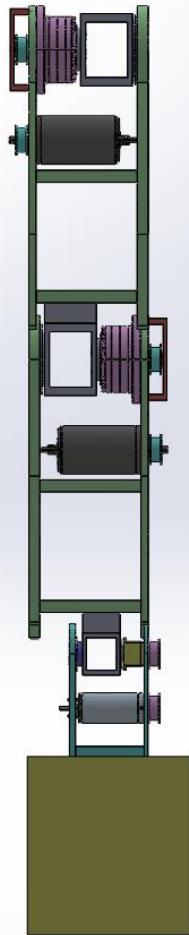
3. 전체 조립도



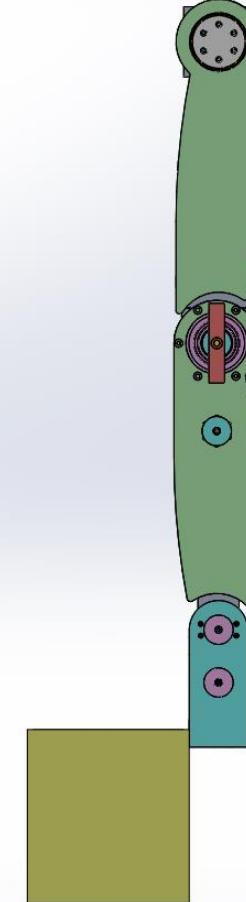
3. 전체 조립도



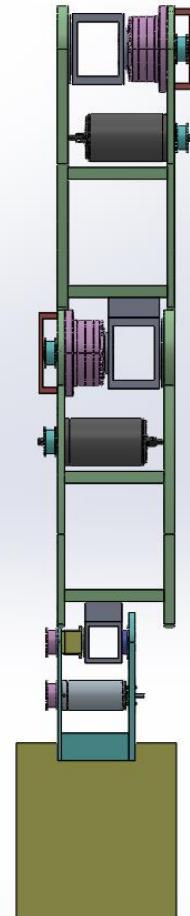
좌측면도



정면도

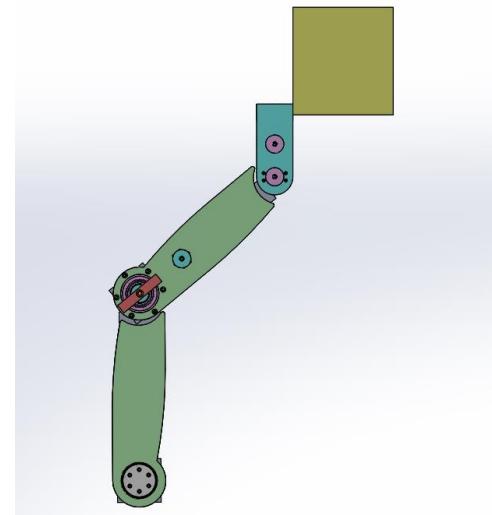
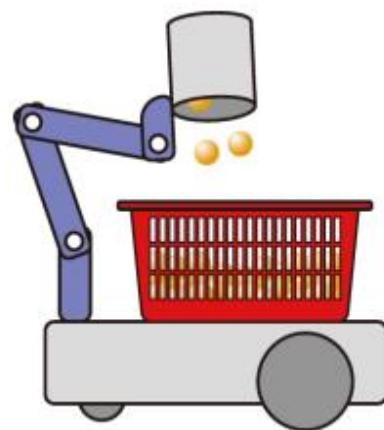
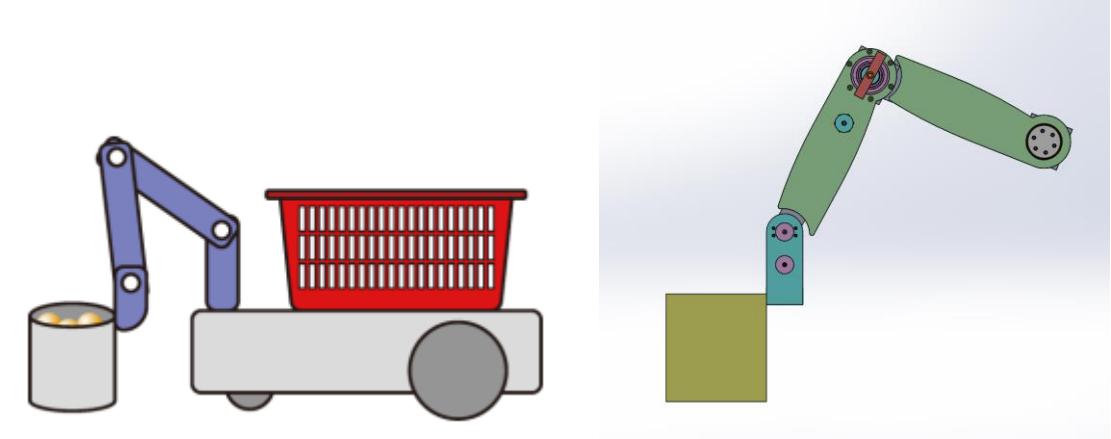
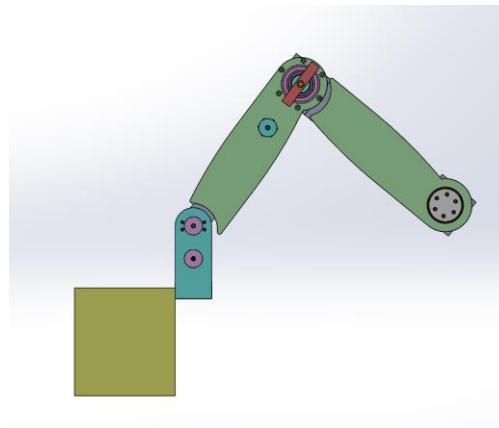
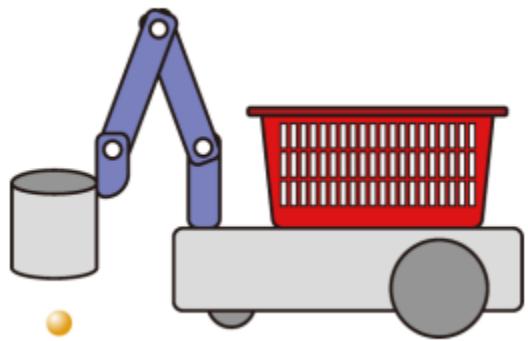


우측면도



후면도

3. 전체 조립도 – 각종 목표 수행



4. 설계 문제점 분석 및 고찰

문제점 분석

- 설계 시 무게가 중요한 요소라고 생각하여 모터의 무게를 많이 고려하였다. 하지만 링크에서는 질량을 더 줄일 수 있는 방법들이 있다. 링크에 구멍을 많이 뚫어 놓는 방법이 그 중 하나이다. 다만 안정성에 문제가 되지는 않을지도 잘 고려해 보아야 한다. 현재 로봇 팔에서 평균은 5mm이고 얕으면 2mm 두께의 판도 존재하는데 너무 얕게 되면 반복적인 피로 하중에 파손 될 가능성이 있을 것이다. 따라서 안정성과 무게를 동시에 고려한 설계가 필요하다.
- 2D 설계 도면을 보고 3D CAD를 사용했을 때, 결과값 차이가 크다. 물론 2D에서 보지 못한 점을 3D로 보완했다고 해석할 수도 있지만, 2D 설계의 장점을 잘 이용하지 못하였다. 이는 2D 설계를 하면서 여러 시행착오를 겪으면서 일어났을 수 있는데, 2D 설계 전에 손으로 스케치하여 시행착오를 먼저 겪어보면 이런 점을 줄일 수 있지 않을까 생각한다.

4. 설계 문제점 분석 및 고찰

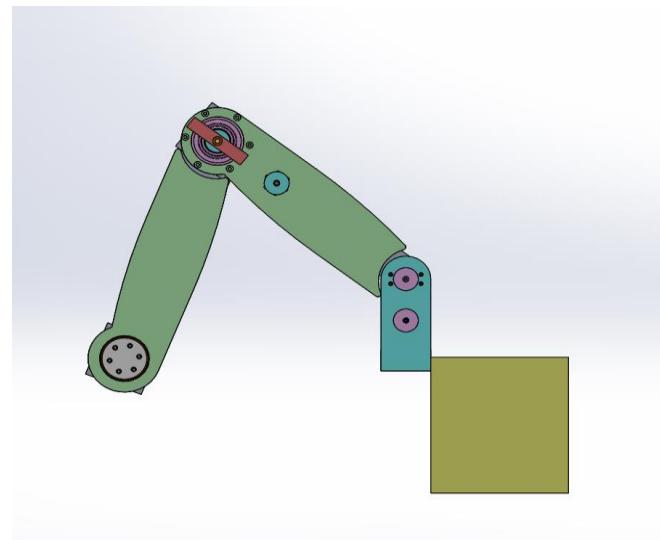
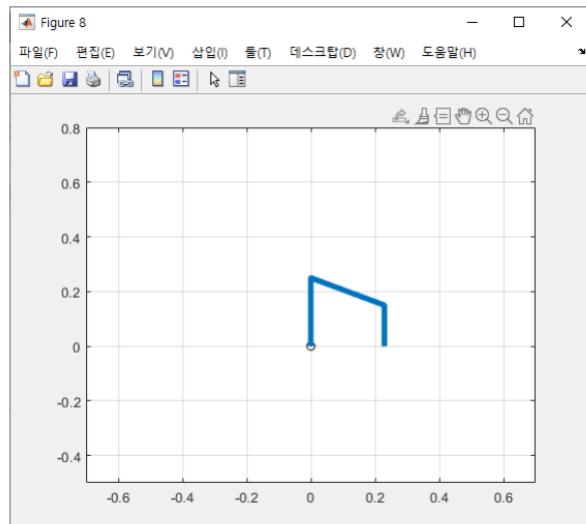
문제점 분석

- 이번 설계에서 풀리/벨트 선정에 대한 고민이 부족했다. MISUMI에서 적절한 풀리/벨트를 찾는 능력을 기를 필요가 있다. 벨트를 사용할 때, 적절한 tension이 있어야 하기 때문에 IDLER이 필요하다.
- 현재 Link1만 1:1.5의 풀리 비를 가지고 있고, Link2, Link3는 1:1의 풀리 비를 가지고 있다. 즉, 두개의 링크에서 풀리/벨트는 효율적인 공간 형성 그 이상 이하의 역할도 하지 않고 있다. 로봇 팔 운동에서 RPM이 부족하지 않다. 풀리/벨트를 적절히 활용해서, 더 낮은 스펙/ 가벼운 액츄에이터의 이용으로 적절한 토크힘을 낼 수 있는 설계를 구상하면 좋을 것이다.

4. 설계 문제점 분석 및 고찰

문제점 분석

- 아래에 있는 사진처럼 첫번째 링크가 수직으로 서야 하는데, 링크들간의 간섭때문에 해당 자세를 가질 수 없다. 움직임에 자유로움을 주기 위해 유선형인 링크 디자인을 적용해 보았고, 이는 효과적이었다. 다만 아직 원하는 자세를 가지기 위해 더 많은 디자인요소를 고려 해보아야 할 것이다. 예를 들어 하나의 링크가 다른 링크를 통과할 수 있게 만든다면, 움직임이 훨씬 자유로워 질 것이다.



4. 설계 문제점 분석 및 고찰

고찰

- 2D CAD에서 충분히 치수를 고려하여 명확한 그림이 그려질 때, 3D 설계를 하면 시간이 훨씬 단축될 수 있다. 하지만 2D CAD에 익숙하지 못하여 시간을 오래 잡아먹었고, 실제 수치와 도형의 크기가 맞지 않아서 결국 3D CAD할 때 치수를 새로이 고민해야 하는 경우가 많이 생겼다. 설계할 때 시간을 단축하고 싶다면 2D CAD를 잘 다룰 수 있어야 한다.
- 어셈블리 할 때, 특히 컴퓨터가 버티지 못하여 프로그램이 재시작되면, 오류가 생기고 수정하기가 매우 어려워진다. 어셈블리에 대한 개념을 다잡을 필요가 있으며, 수정하기 쉽게 처음부터 단계적으로 설계해 나아가는 것이 중요할 것이다.
- 응용로봇설계를 들으면서 적절한 액츄에이터를 선정하고 설계하는, 기본적이지만 중요한 능력을 기를 수 있게 되었다.

감사합니다.