

AUTOMATED
BALL PICKING

ROBOT ARM

탁구공 잡는 자동화 로봇 팔

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 x10 ⁻⁴ kgm ²	J x10 ⁻⁴ kgfms 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	12	1.2	6.9	0.70	25	2.6						
	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	

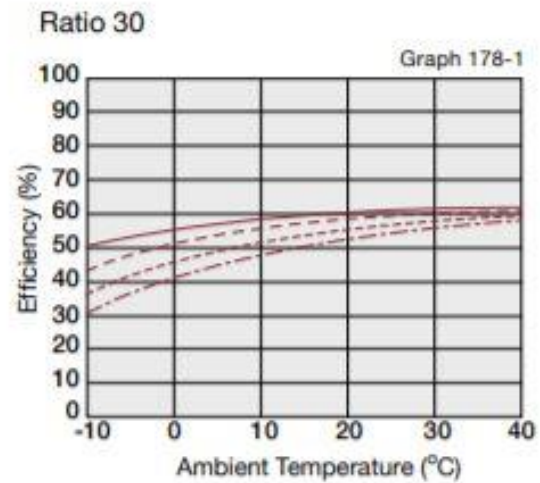
필요한 최대 토크가 낮은 Joint3는

CSF mini series unit type 기준, 5size 30 ratio 하모닉 기어가 적절하다.

1. 구동기 선정 – 감속기 선정

■ Efficiency at rated torque

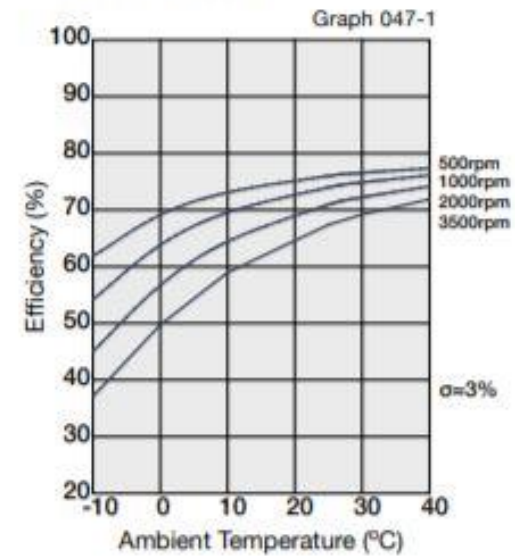
Size 5



■ 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

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

$$\text{Nominal Voltage} = 24\text{V}$$

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

$$\text{Nominal Current} = 7.19264\text{A} \sim 10.789\text{A}$$

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

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

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

1차 선정 Maxon RE50 200W



1. 구동기 선정 – 모터 1 선정

Maxon RE50 200W

Torque Constant x Nominal Current x 3

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

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 = $13.9019/0.77 = 16.883\text{W}$

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

Nominal Speed = 5680RPM

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

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

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

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

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

Motor Data		148866	148867	1
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

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

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

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

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		148866	148867	1
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

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

Nominal Current = 0.4989A ~ 0.7482A

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

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

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



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

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

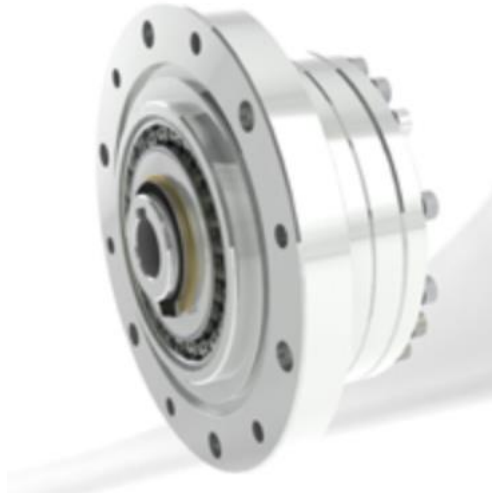
Values at nominal voltage

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

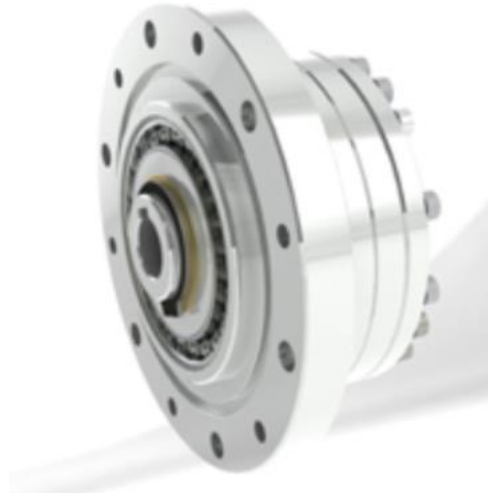
Characteristics

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

무게 : 130g



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

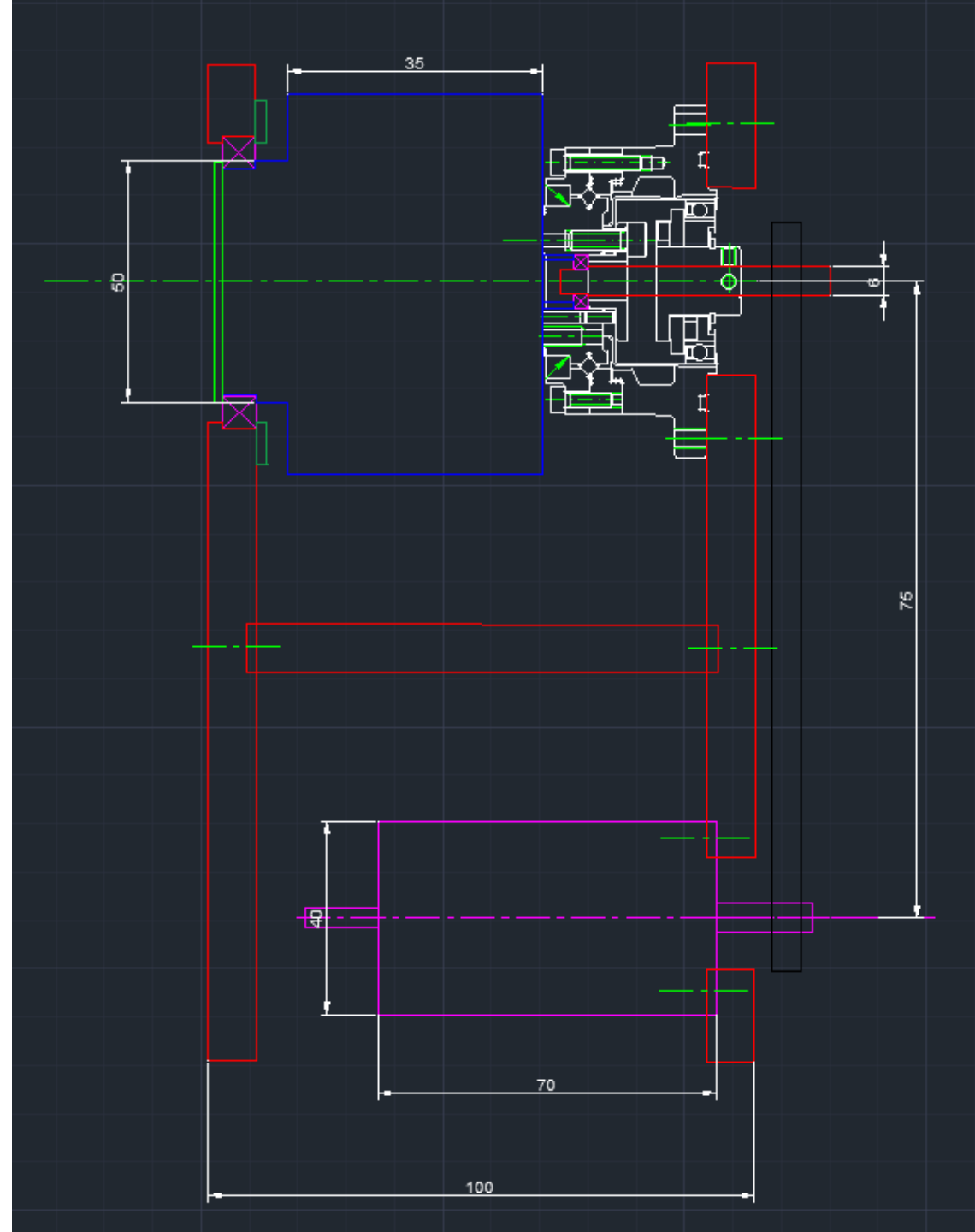
최종 선정 모터

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

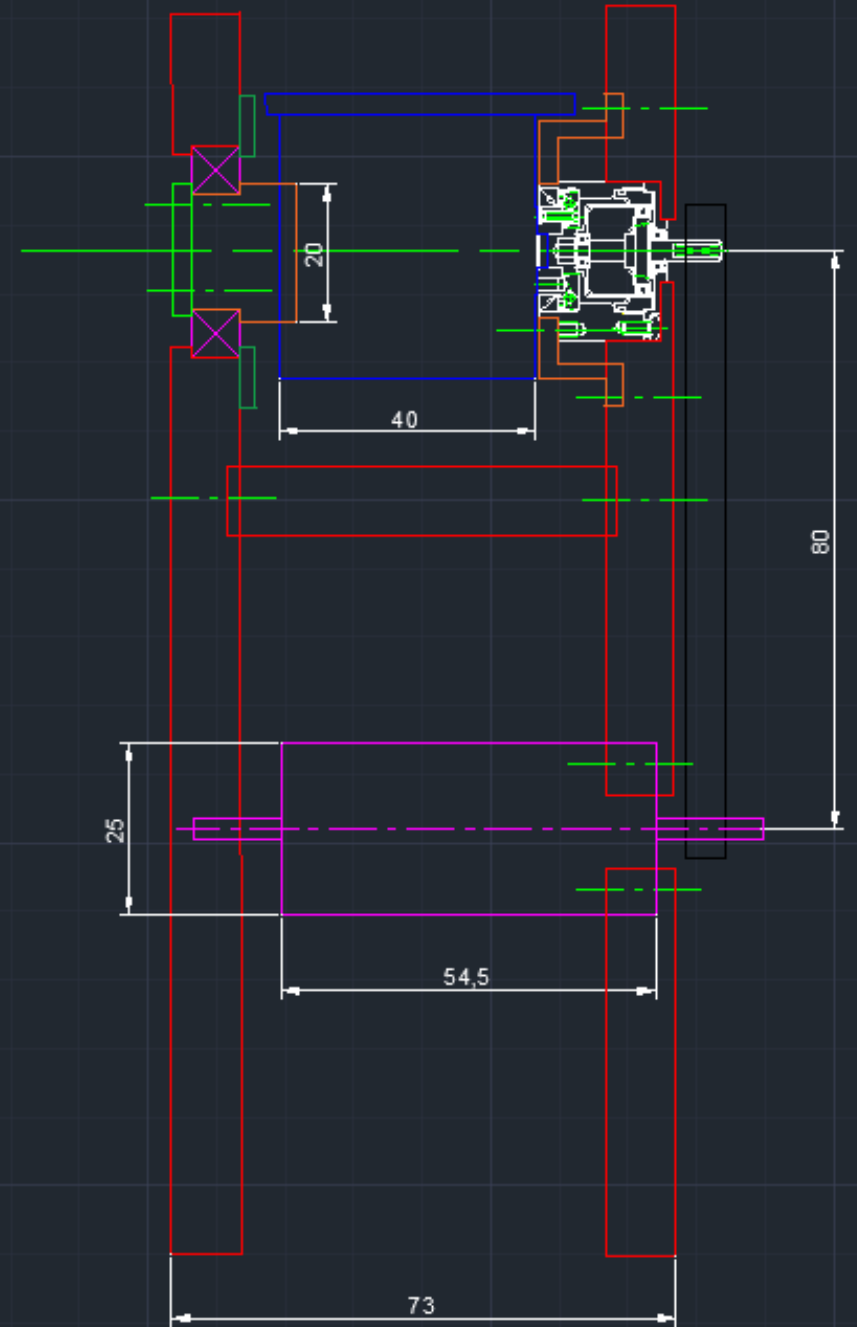


2. 각 관절부 설계 – 2D 개념 조립도

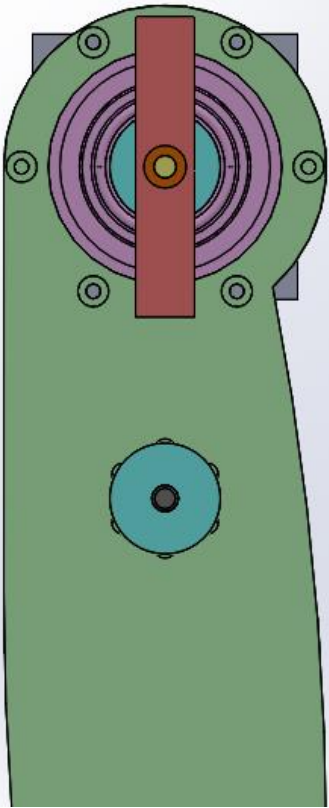
Link3

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

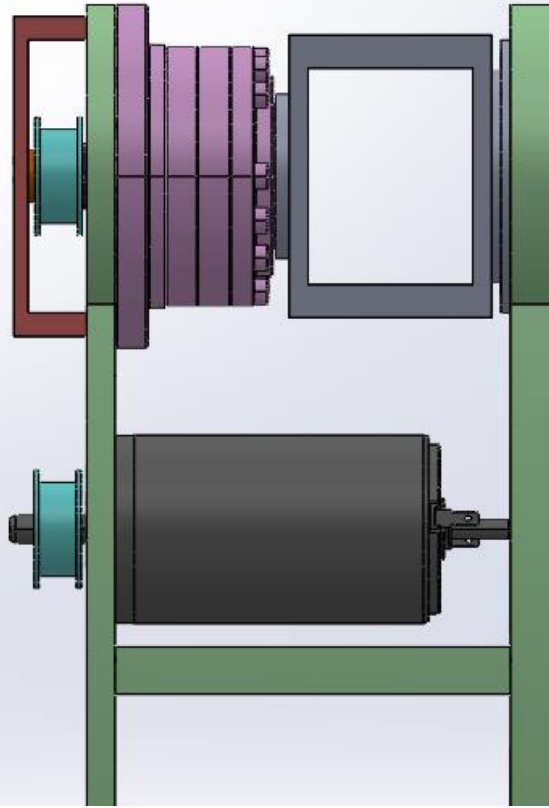
하모닉 기어 CSF-5-30-1U-F는 input축이 달려 있어 추가적으로 축을 만들 필요가 없다. 대신 결합부가 뒤쪽에 있어 지지대를 따로 만들어주어야 한다.



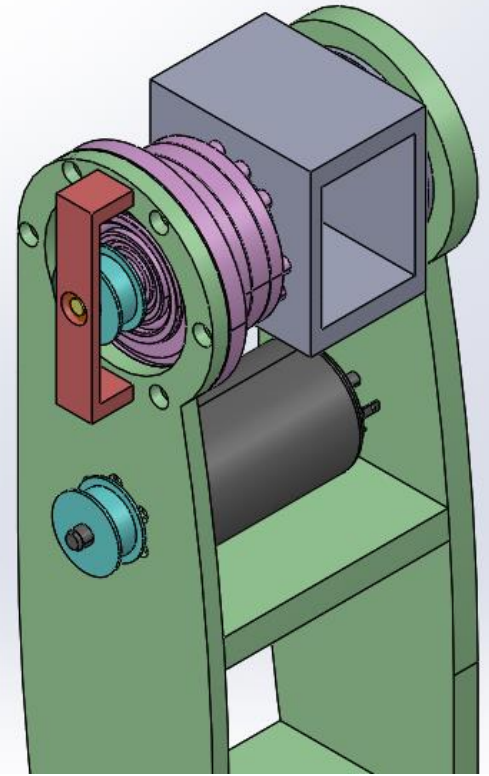
2. 각 관절부 설계 – Link1, Link2



측면도

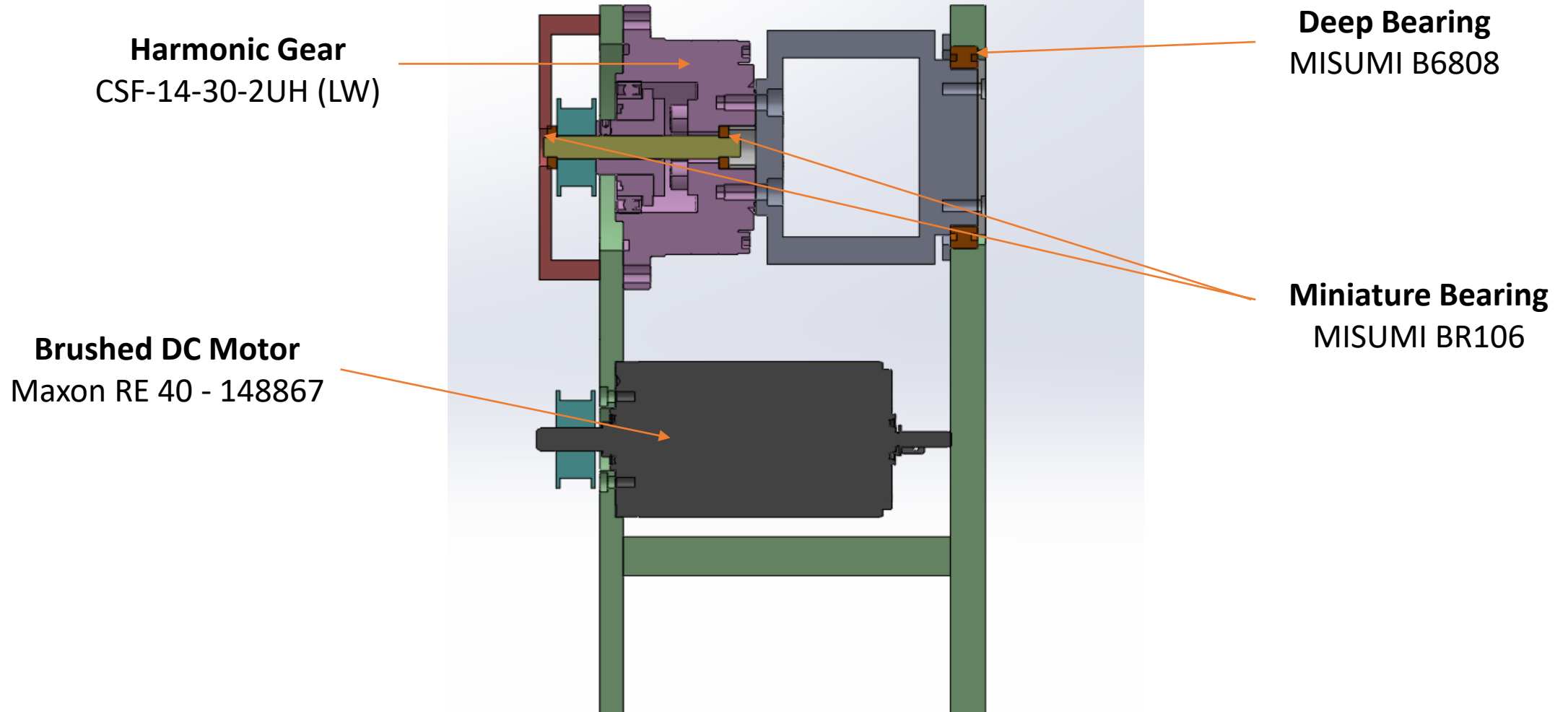


정면도

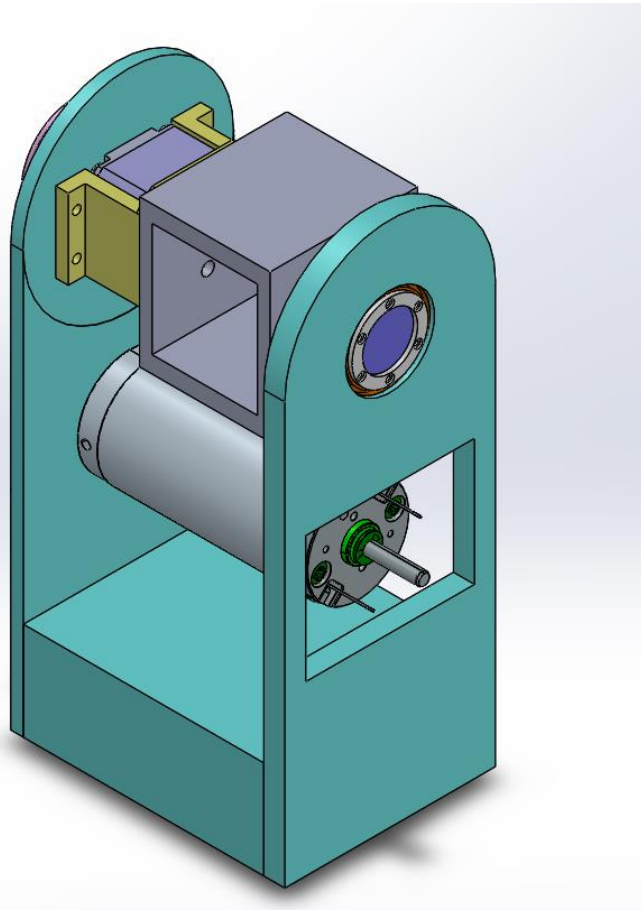


등각도

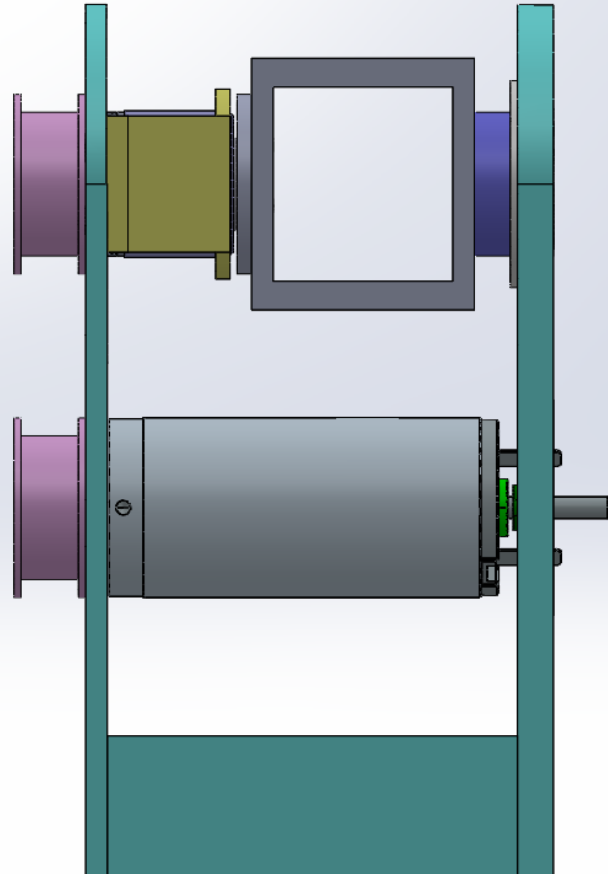
2. 각 관절부 설계 – Link1, Link2



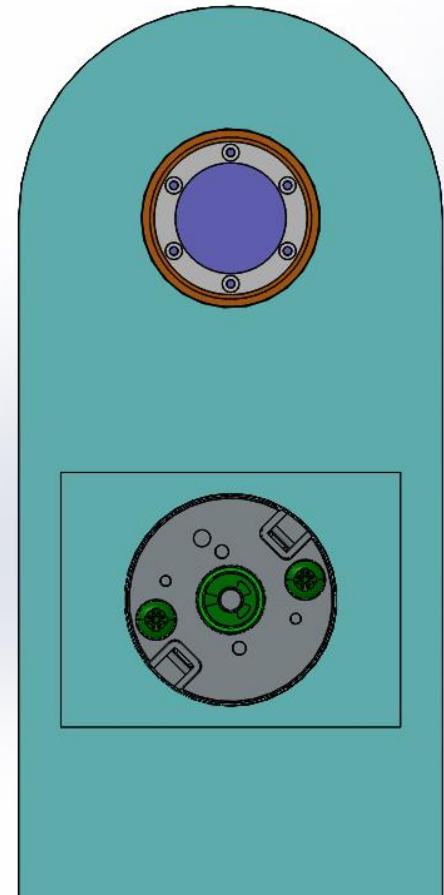
2. 각 관절부 설계 – Link3



등각도



정면도



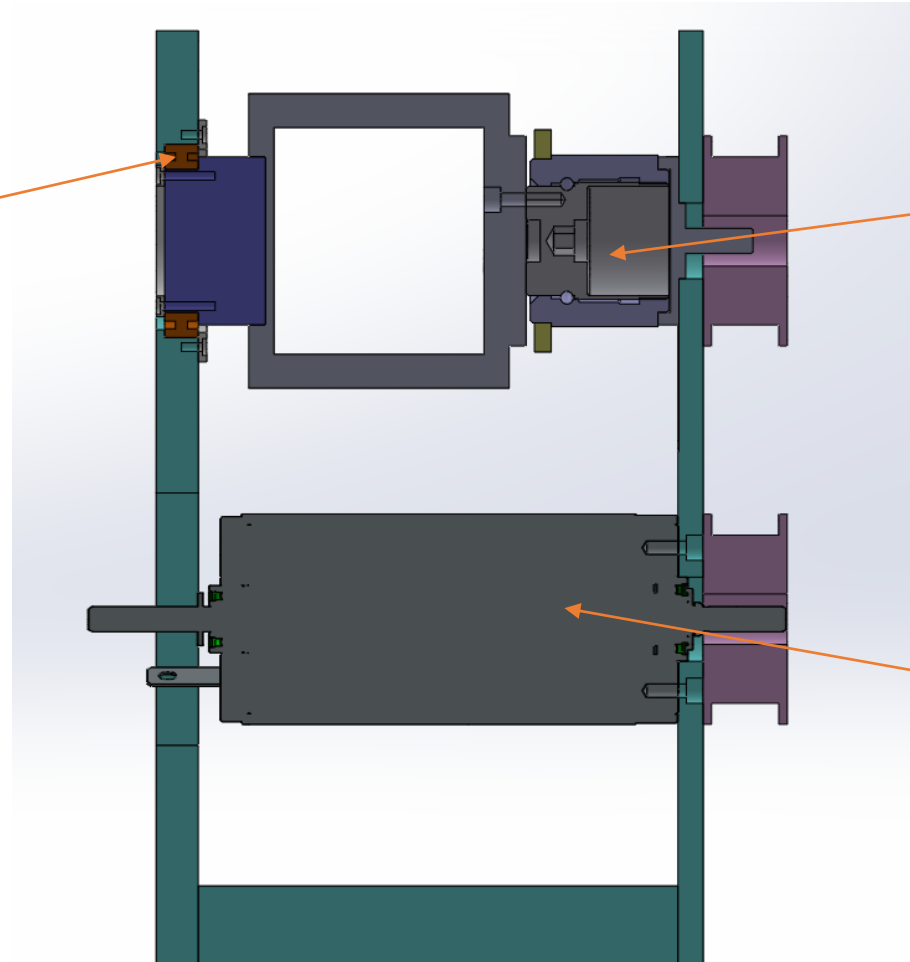
측면도

2. 각 관절부 설계 – Link3

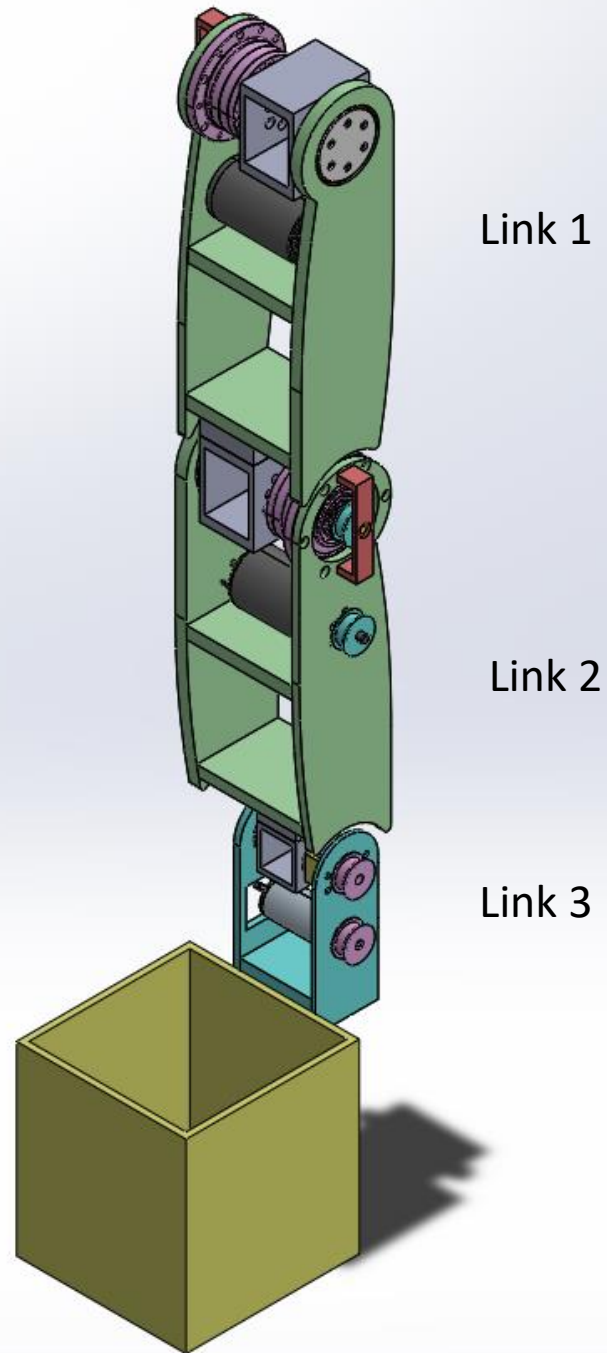
Deep Bearing
MISUMI B6703

Harmonic Gear
CSF-5-30-1U-F

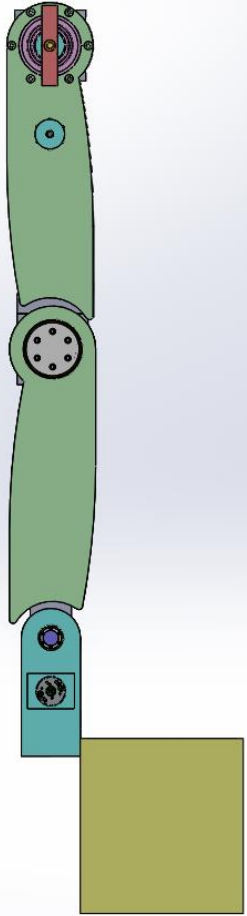
Brushed DC Motor
Maxon RE 25 - 118752



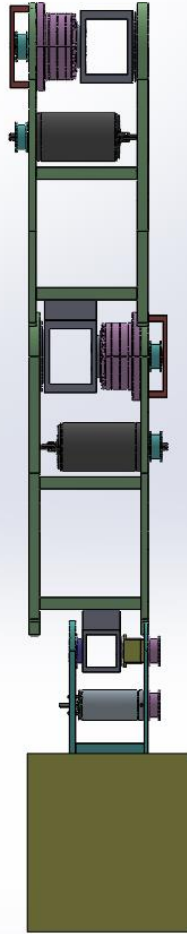
3. 전체 조립도



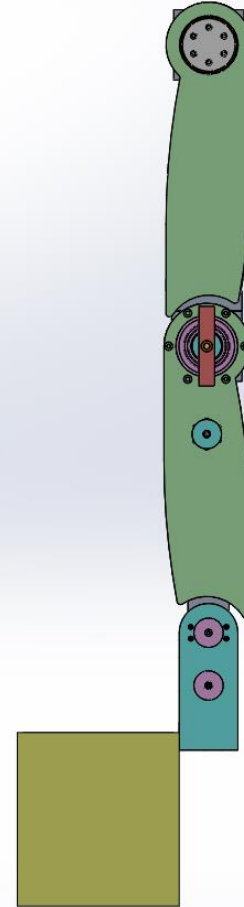
3. 전체 조립도



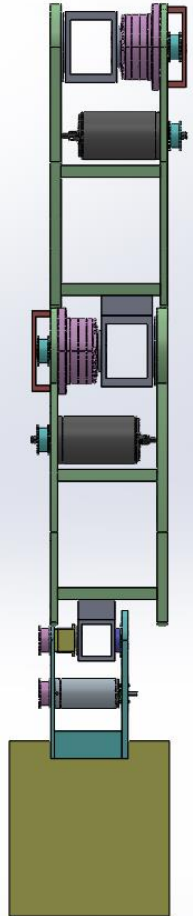
좌측면도



정면도

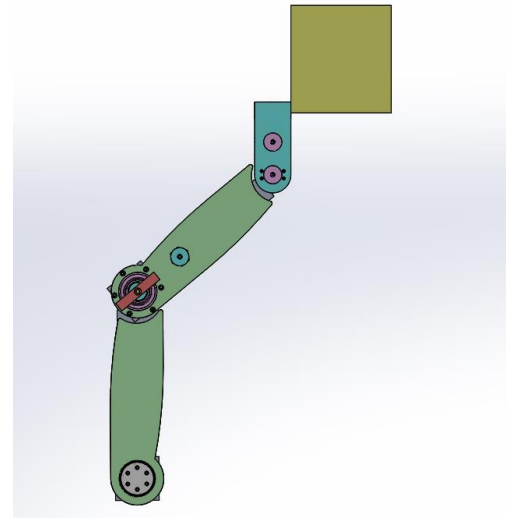
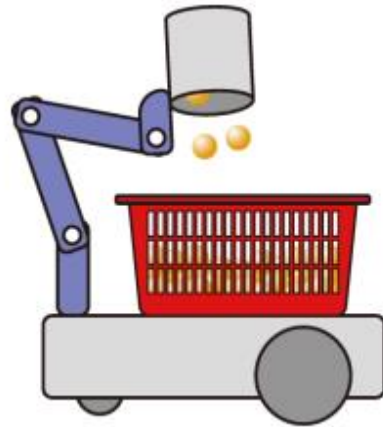
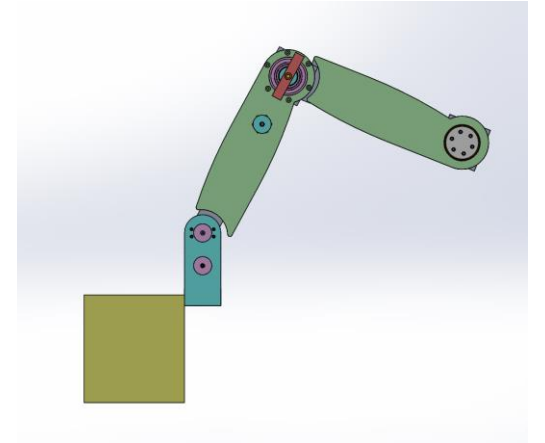
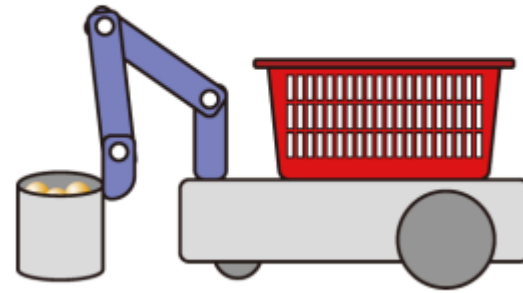
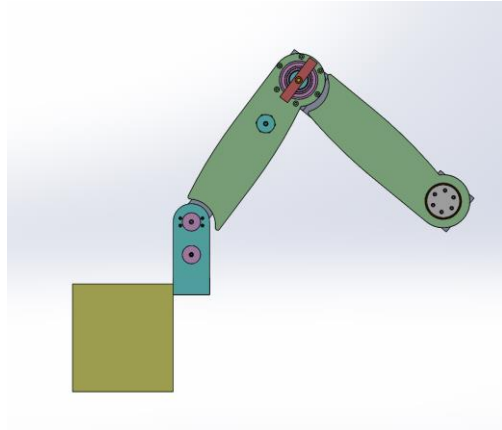
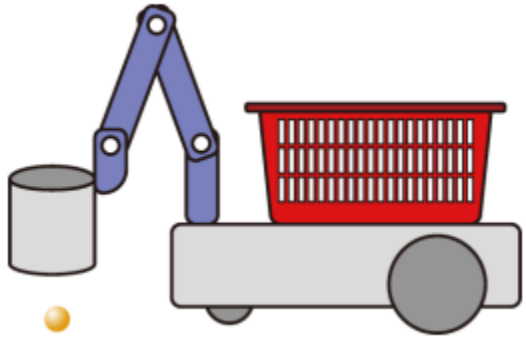


우측면도



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 얇으면 2mm 두께의 판도 존재하는데 너무 얇게 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

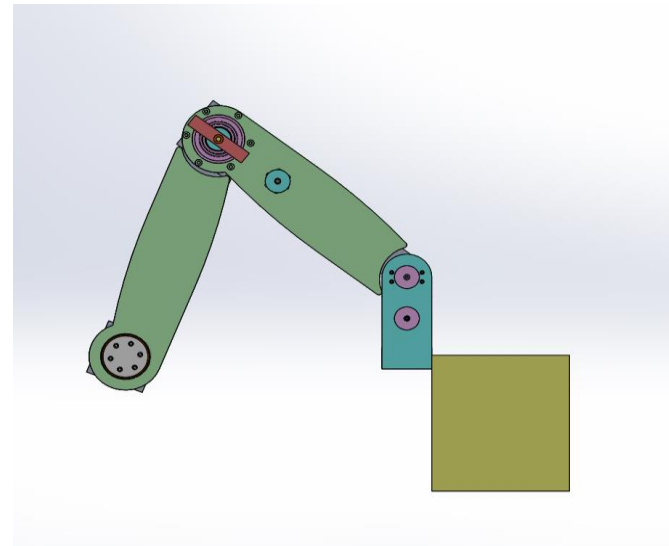
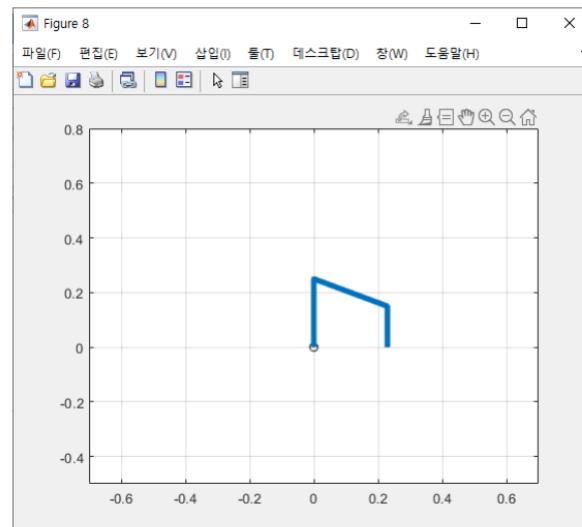
문제점 분석

- 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 액추에이터를 선정하고 설계하는, 기본적인지만 중요한 능력을 기를 수 있게 되었다.

감사합니다.