로봇 팔 동적 성능 개선 설계

팀명: 호호이 친구들
학교: 한국산업기술대학교
학과: 기계공학과
이름: 박성훈, 박준형

목차

1. 개요

2. 설계

3. 최적화 설계

4. 결과

1. 개요

1. 개요

1-1. 주제 선정 배경

“기술 발전에 의해 늘어나는 자동화+코로나로 인한 자동화의 가속화+노동인구 감소”

취업자 중 절반은 자동화 대체 위기… 코로나로 고용시장 급변

코로나발 노동시장 '상흔', 자동화 일자리 감소·실업 장기화

이마트24, 물류센터 자동화로 가맹점 만족도·업무 효율 높인다

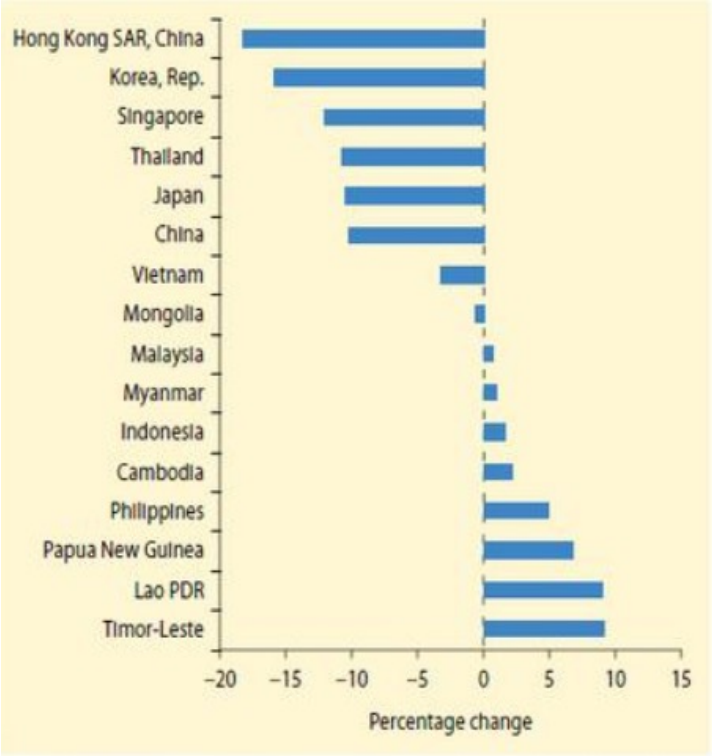
"노동인구 감소로 증가하는 업무부담, 대안은 자동화"

⟹ **업무 자동화의 필요성 증가**

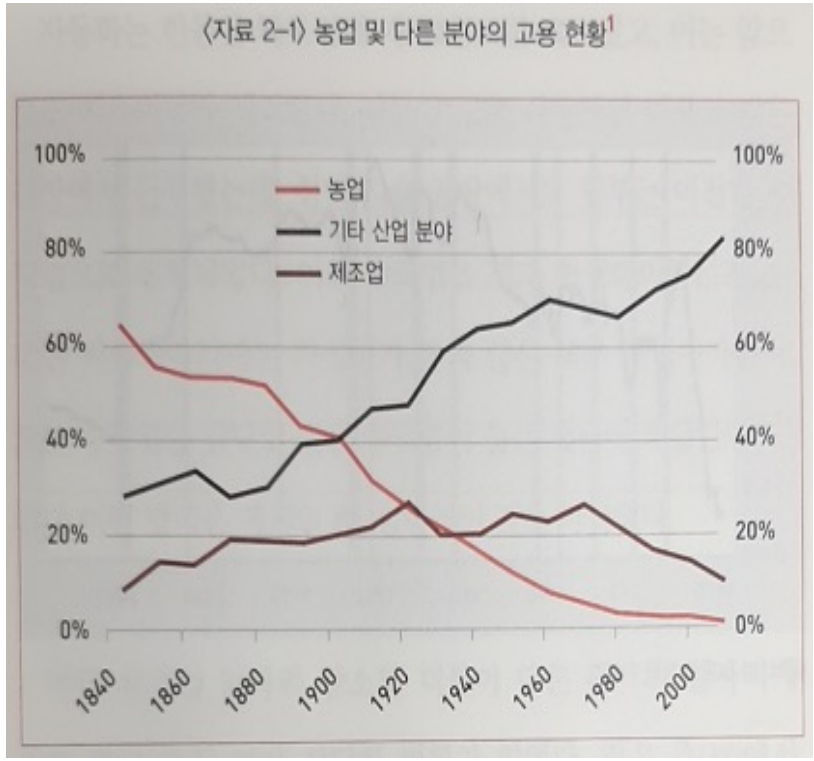
출처
https://moneys.mt.co.kr/news/mwView.php?no=2021072113598072305
http://www.newstomato.com/ReadNews.aspx?no=1061005&inflow=N
https://www.sedaily.com/NewsView/22OUG244E8,
https://zdnet.co.kr/view/?no=20210713171222

1. 개요

1-1. 주제 선정 배경



국가 및 지역별 2010~2040년 노동가능인구 감소 전망치(%)



농업, 제조업 및 기타 산업 분야의 고용 현황

사업체 규모별 취업자수 추이

출처
https://news.naver.com/main/read.nhn?oid=421&aid=0001778678
https://blog.naver.com/musicalmman/222120893599

1. 개요

1-1. 주제 선정 배경

기술의 발전에 따라 많은 공정이 자동화로 진행되고 있고 그 과정이 코로나로 인해 가속화 되고 있다.

생산성과 정밀성, 그리고 편리한 조작 때문에 많이 사용하고 있고 점점 수요가 증가하고 있다.

따라서, 이러한 로봇 팔을 설계해보고자 한다.

1. 개요

1-2. 문제점 및 해결방안

무거운 중량 -> 필요 에너지 증가 -> 경제적 손실

⇩

불필요한 중량을 줄이고 에너지 소모를 줄이는 것이 중요!!

1. 개요

1-3. 설계 목표

1. 5kg의 가반 하중이 계속해서 작용해도 기계적 결함이 일어나지 않도록 한다.

2. 각 파트 별 질량을 감소시키고, 이를 이용해서 구동에 필요한 동력을 감소시켜서 전력 소모를 개선시킨다.

1. 개요

참고 모델(OMRON사/Viper 850)

상품명		Viper		
	사이즈	850		
	클린 룸/IP	표준	클린 룸 대응	IP54/65
형식		1720□ -38000	1720□ -38020	1720□ -38010
축 수		6		
설치 방법		바닥 고정/천장 설치 타입		
암 길이		855mm		
최대 가반 무게		5kg		
동작 속도	J1	250°/sec		
	J2	250°/sec		
	J3	250°/sec		
	J4	375°/sec		
	J5	375°/sec		
	J6	600°/sec		
무게		36kg		

1. 개요

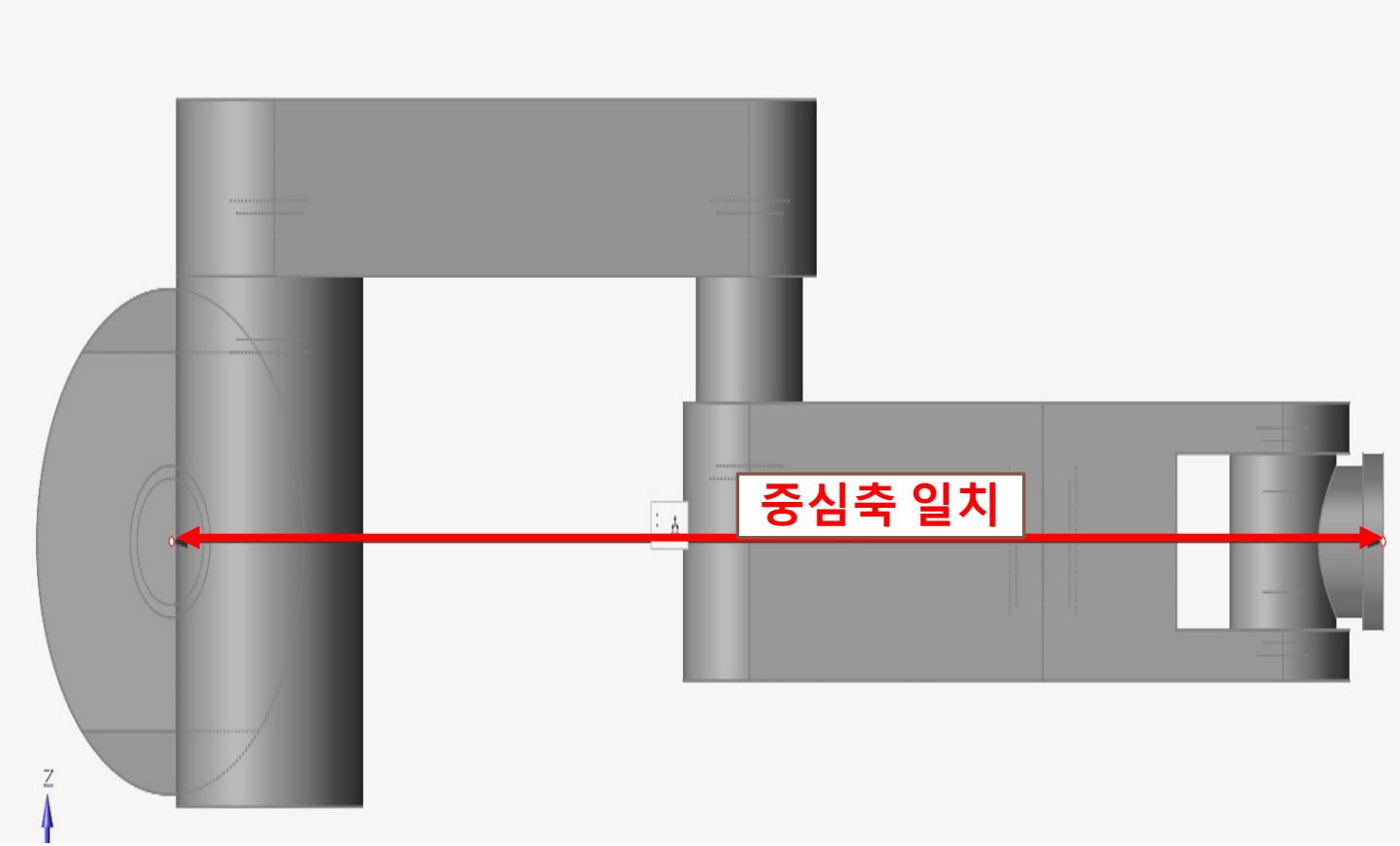
1-4. 형상 모델링

초기 모델

초기 모델	
본체 무게	42.6kg
가반 하중	5kg
축	Steel(AISI304)
주 재료	Al(6060-T6)

1. 개요

1-4. 형상 모델링

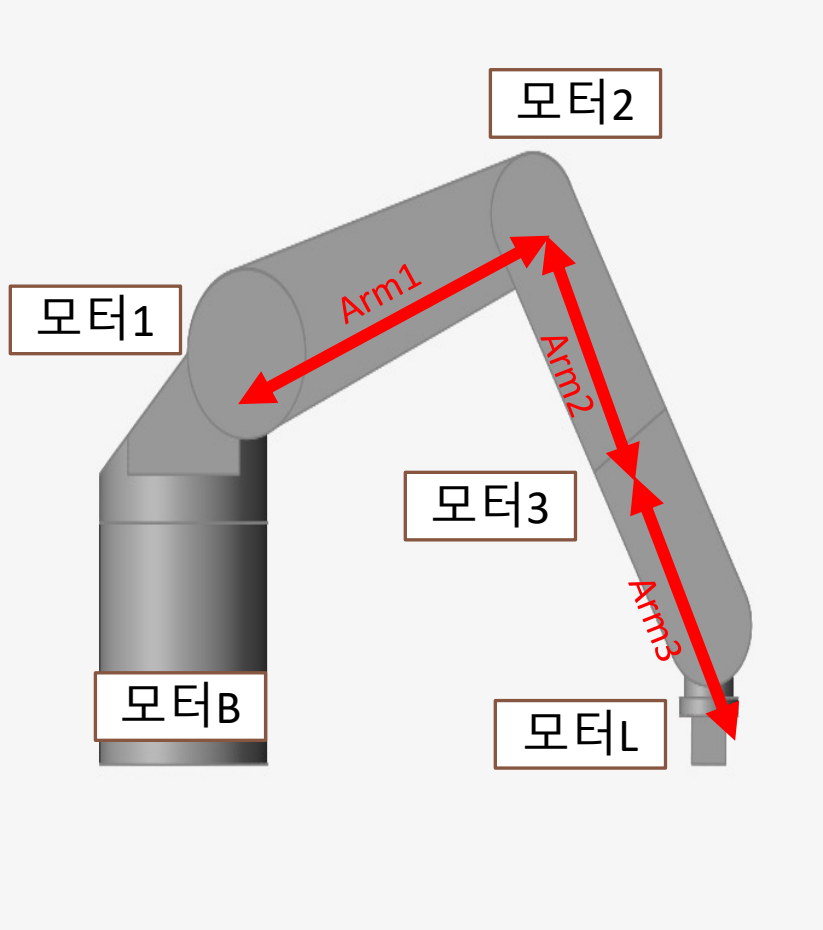


정확한 경로설계와 편심에 의한 공진 현상을 방지하기 위해서 Base의 축과 Load의 중심축을 일치시킨다.

2. 설계

2. 설계

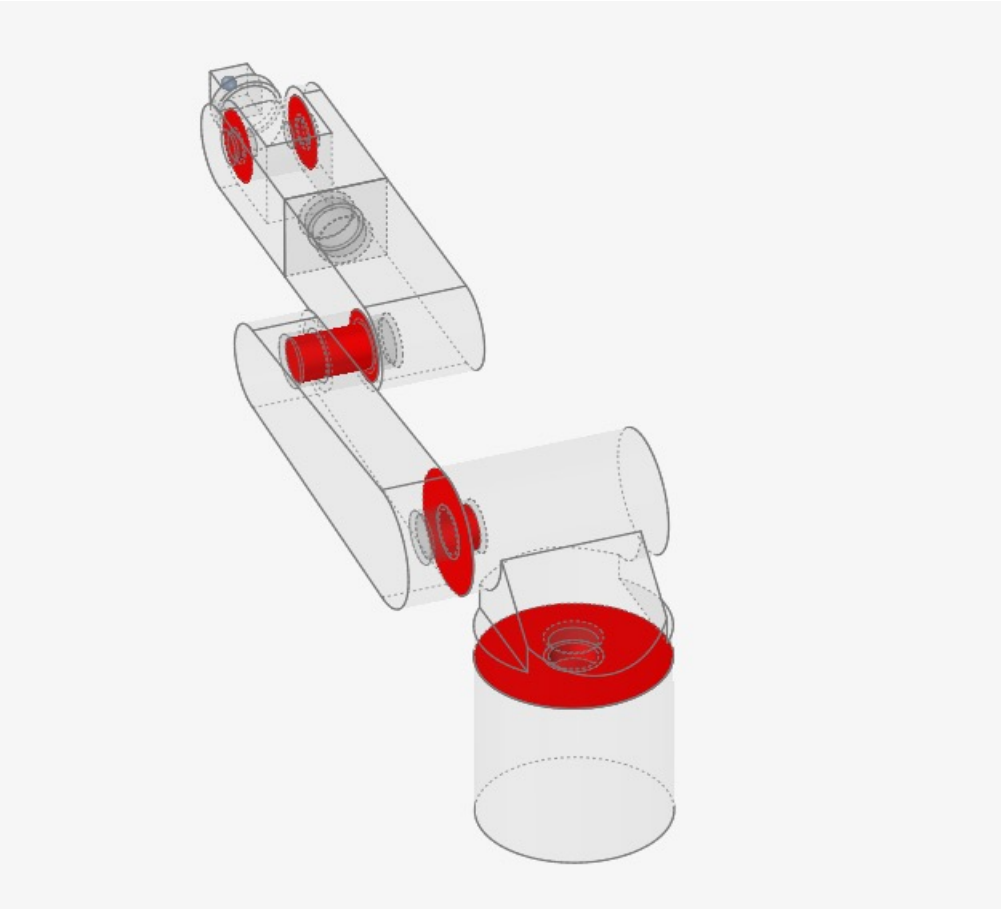
2-1. 모터 스펙



	각속도(rad/s)	각가속도(rad/s^2)
모터B	4.363	8.726
모터1	4.363	8.726
모터2	4.363	8.726
모터3	6.545	13.09
모터L	6.545	13.09

2. 설계

2-1. 강체 및 조인트(Case1. 기본 모션)

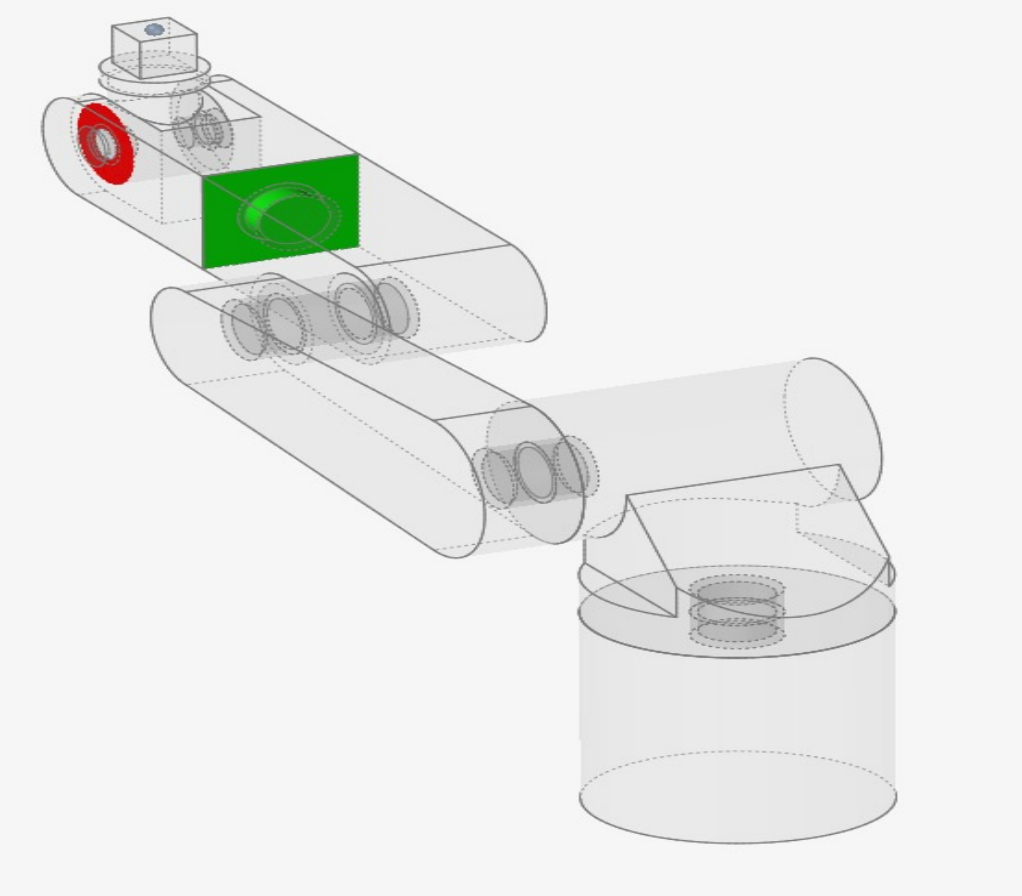


관절의 회전을 구현하기 위해 관절별로 힌지로 구속하고,
관절끼리 연결하는 축에 모터를 연결해서 구동을 구현하였다.

최하단 원통을 Base로 구속한 다음 힌지와 힌지 사이의
파트들을 강체로 구속하였다.

2. 설계

2-1. 강체 및 조인트(Case2. Arm3 회전)



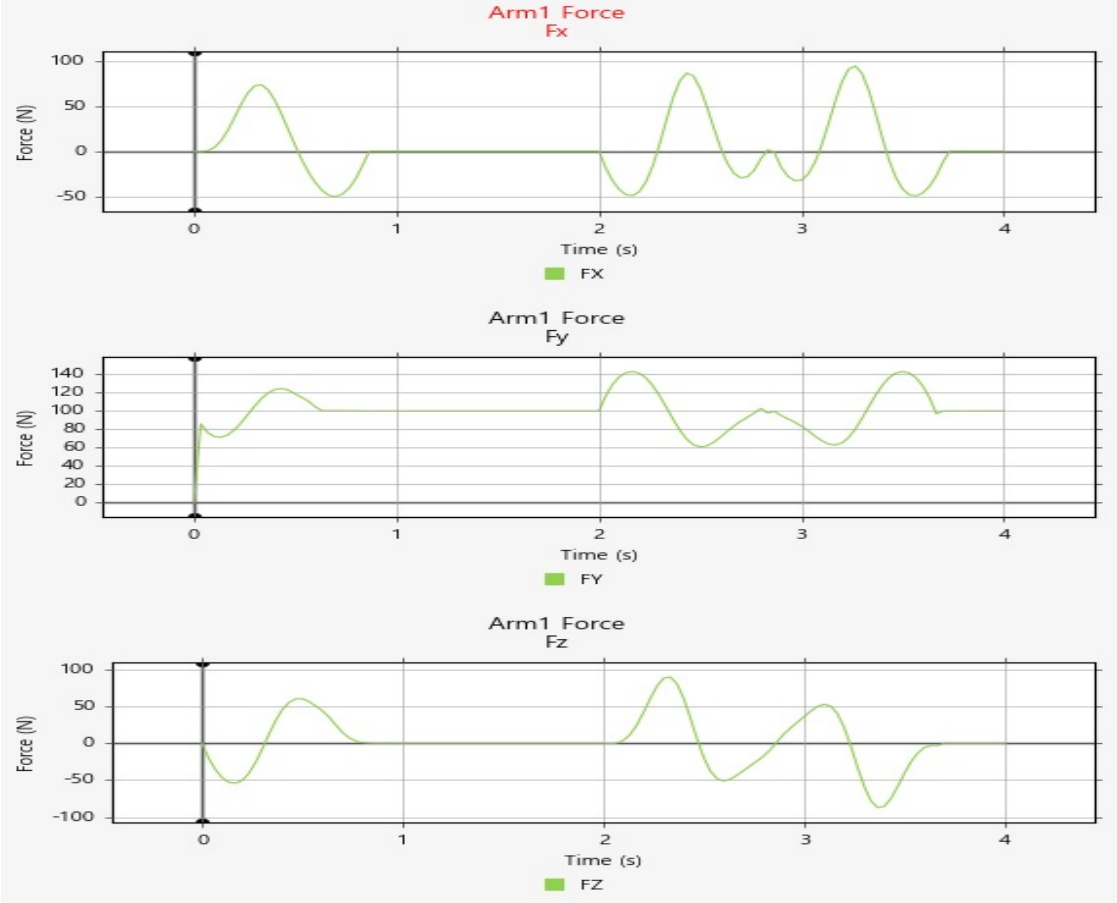
Arm3만 회전하는 상황을 구현하기 위해 Arm3와 Arm2 사이의 힌지 구속을 주고,

힌지를 기준으로 양쪽 형상들을 강체로 구속하였다.

그 후, 힌지에 모터를 장착해서 회전을 구현하였다.

2. 설계

2-2. 설계 방향



Arm1에 걸리는 x,y,z 방향 최대하중

X,Y,Z 전부 최대 하중이 걸리는 시간이 다르기 때문에 동적해석만으로는 가장 위험한 상황인 모든 방향에서 최대 동하중이 걸리는 상황을 구현하기 어렵다.

동적해석으로 가반하중이 계속 작용하는 상황에서 각 방향으로 걸리는 최대 동하중을 계산한다. 계산한 동하중을 이용해 등가 정적해석을 진행한다.

참고문헌 : Design and Control of the Master Arm for Control of Industrial Robot Arm

2. 설계

2-2. 설계 방향

Arm1, 3의 경우 최대 동하중을 구현할 수 있지만, Arm2의 경우
동하중이 부여되는 조인트가 강체로 구속되었다.

따라서, Arm3에 걸린 동하중과 무게 값을 이용해 Arm2 조인트에 걸리는 등가하중 값을 구한다.

로봇 팔에 작용하는 구동력은 하중 토크 + 관성 토크의 효과로 나타나는데, 해당 모션에서는 Arm3가
회전하지 않기 때문에 추가로 회전에 대한 효과를 최대 관성모멘트와 최대 각가속도를 이용해서 구현한다.

2. 설계

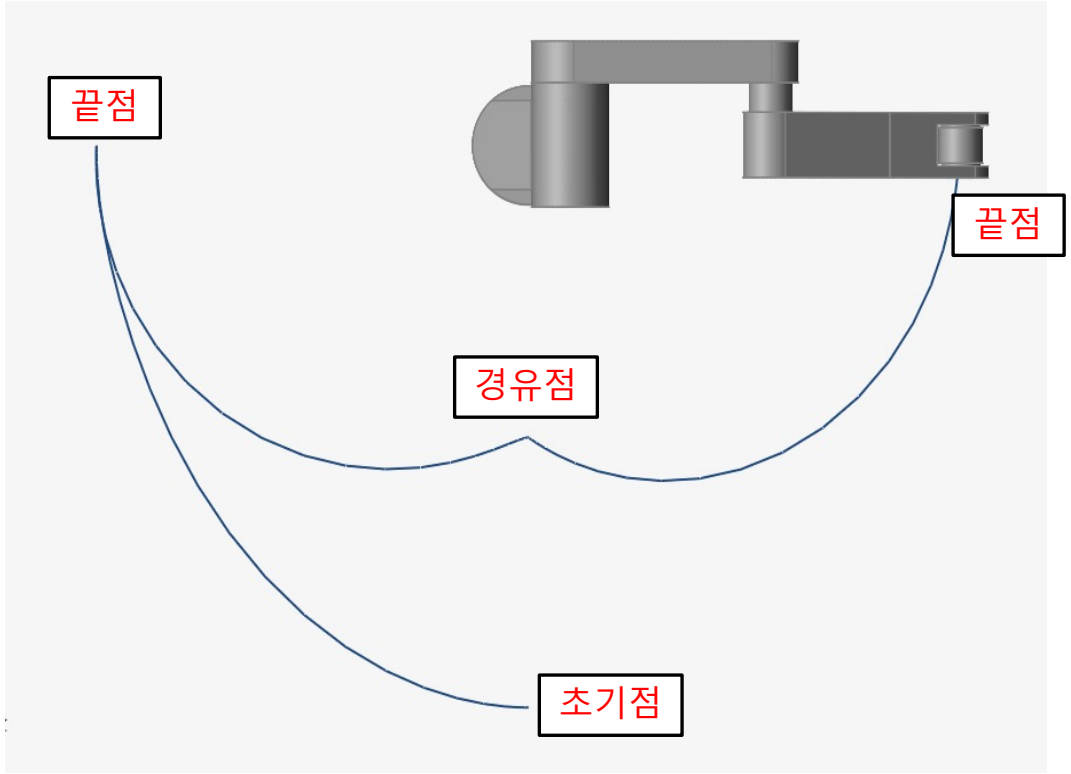
진행 순서

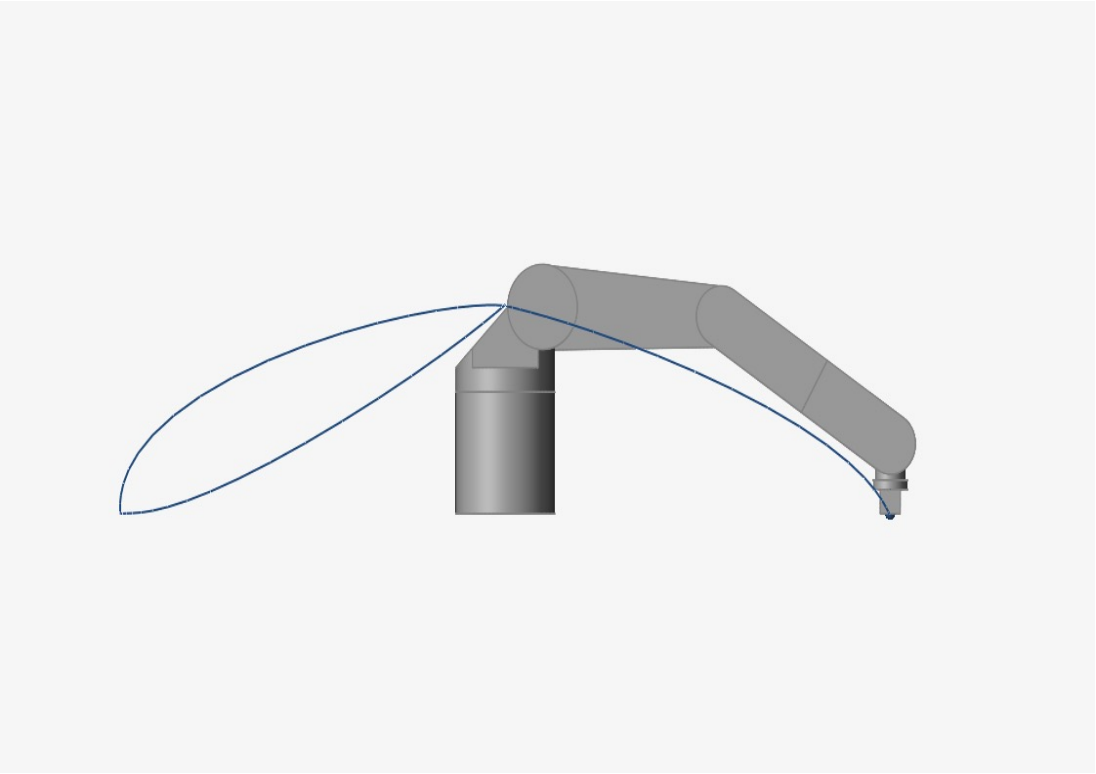
경로해석 → 동하중 도출 → 등가하중 해석

2. 설계

2-3. 경로 해석

- 로봇 경로





2. 설계

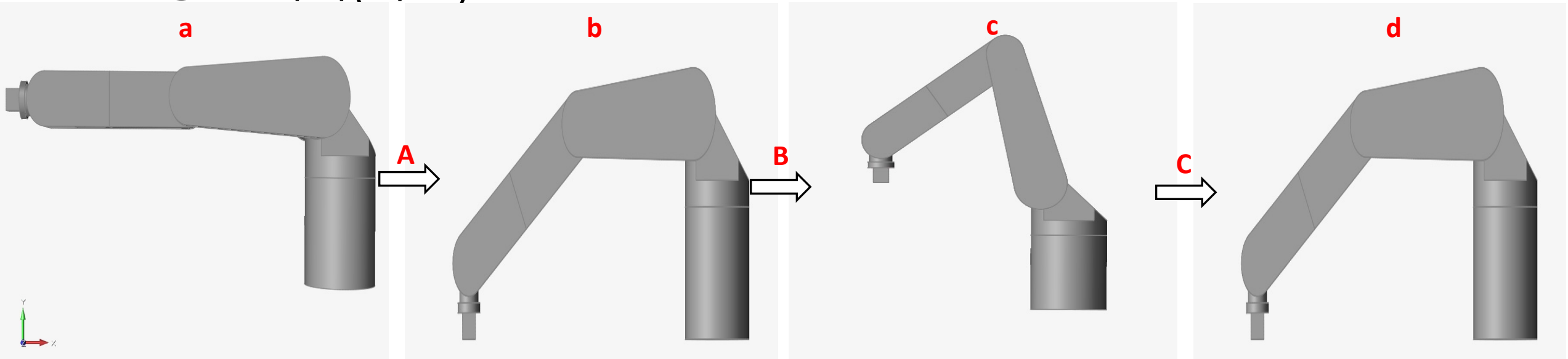
2-3. 경로 해석(개요)

관절의 동적 거동을 구현하기 위해서는 초기 점, 끝점, 경유 점 별 변하는 각 변위와 관절 별 구동 시간이 필요하다.

따라서, 상자의 끝점을 기준으로 주어진 팔 길이들을 이용해서 각도를 계산하고, 속도와 각가속도를 이용해서 시간을 계산하려고 한다.

2. 설계

2-3. 경로 해석(각도)

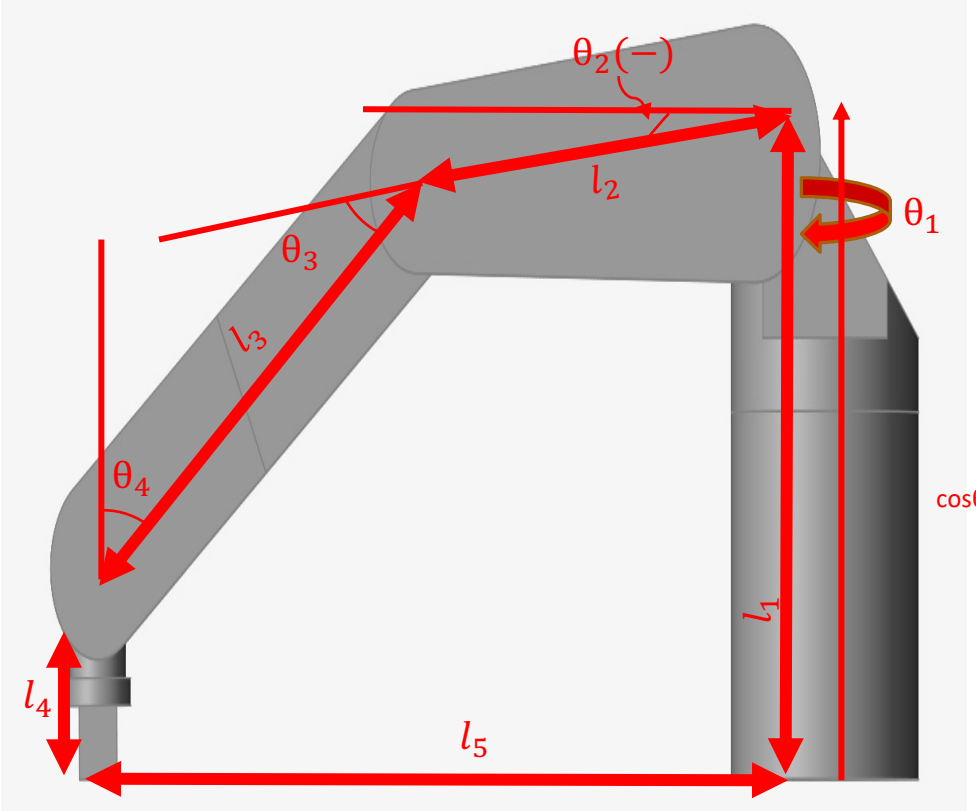


	경로A	경로B	경로C
Base 각 변위	K_{A1}	K_{B1}	K_{C1}
Arm1 각 변위	K_{A2}	K_{B2}	K_{C2}
Arm2 각 변위	K_{A3}	K_{B3}	K_{C3}
Load 각 변위	K_{A4}	K_{B4}	K_{C4}

2. 설계

2-3. 경로 해석(각도)

- 상자의 위치 별 관절 각도 정의(끝단)



$$l_2 \sin\theta_2 + l_1 = l_3 \cos\theta_4 + l_4$$

$$(l_5 - l_3 sin\theta_4)^2 + {l_2}^2 sin^2\theta_2 = {l_2}^2$$

위 두 식을 연립하여 $\cos\theta_4$ 에 대한 방정식으로 나타내면,

$$(b^2+1)cos^2\theta_4 + 2bc\,cos\theta_4 + c^2 - 1 = 0$$

$\cos\theta_4$에 대한 근의 공식

$$\left(a = l_4 - l_1,\ b = \frac{a}{l_5},\ c = \frac{{l_3}^2 + {l_5}^2 - {l_2}^2 + a^2}{2\, l_3\, l_5}\right)$$

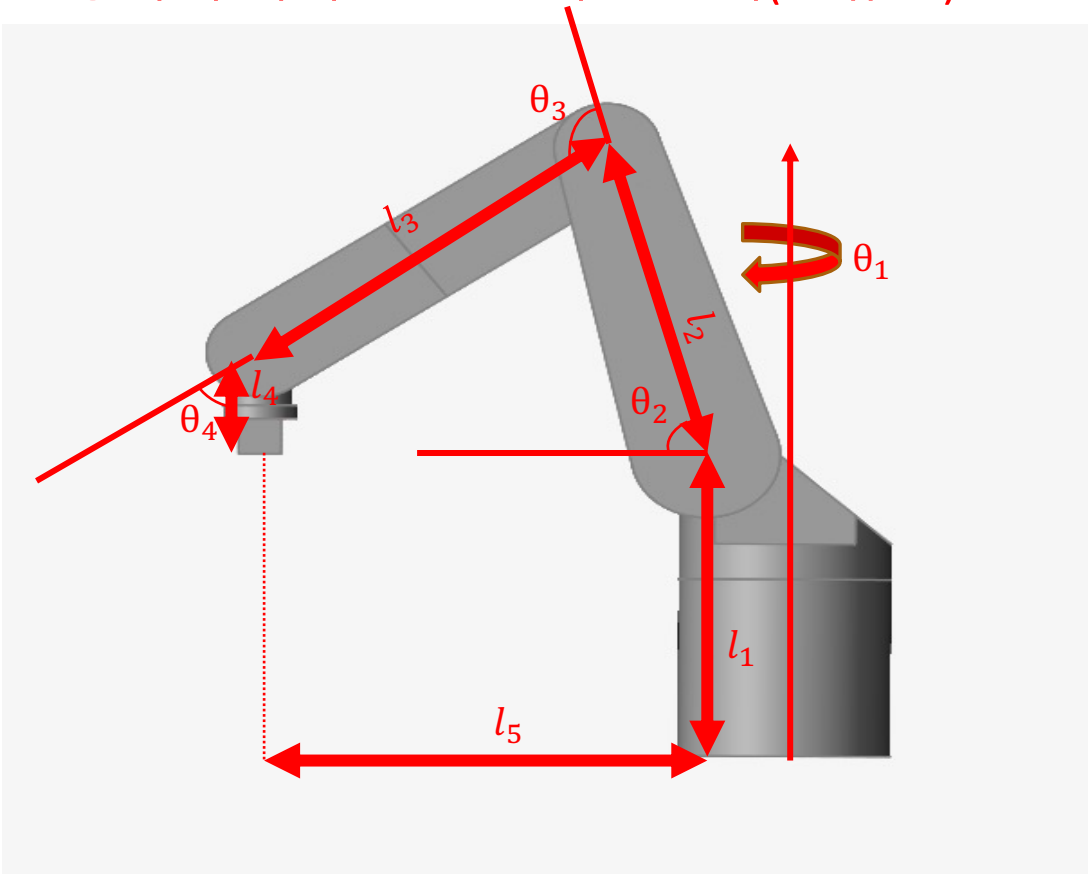
$$\theta_4 = cos^{-1}\left(\frac{-bc \pm \sqrt{b^2c^2 - (b^2+1)(c^2-1)}}{b^2+1}\right)$$

$$\theta_2 = sin^{-1}\left(\frac{l_3 cos\theta_4 + l_4 - l_1}{l_2}\right),\ \theta_3 = \frac{\pi}{2} + \theta_2 - \theta_4 (rad)$$

2. 설계

2-3. 경로 해석(각도)

- 상자의 위치 별 관절 각도 정의(경유점)



$$(l_3 cos\theta_4 + l_4)^2 + (l_5 - l_3 \sin\theta_4)^2 = {l_2}^2$$

위 식을 $\sin\theta_4$에 대한 방정식으로 정리하면,

$$(l_5{}^2 + l_4{}^2) sin^2\theta_4 + 2a l_5 \sin\theta_4 + a^2 - {l_4}^2 = 0$$

$$(a = \frac{{l_2}^2 - {l_4}^2 - {l_5}^2 - {l_3}^2}{2\, l_3})$$

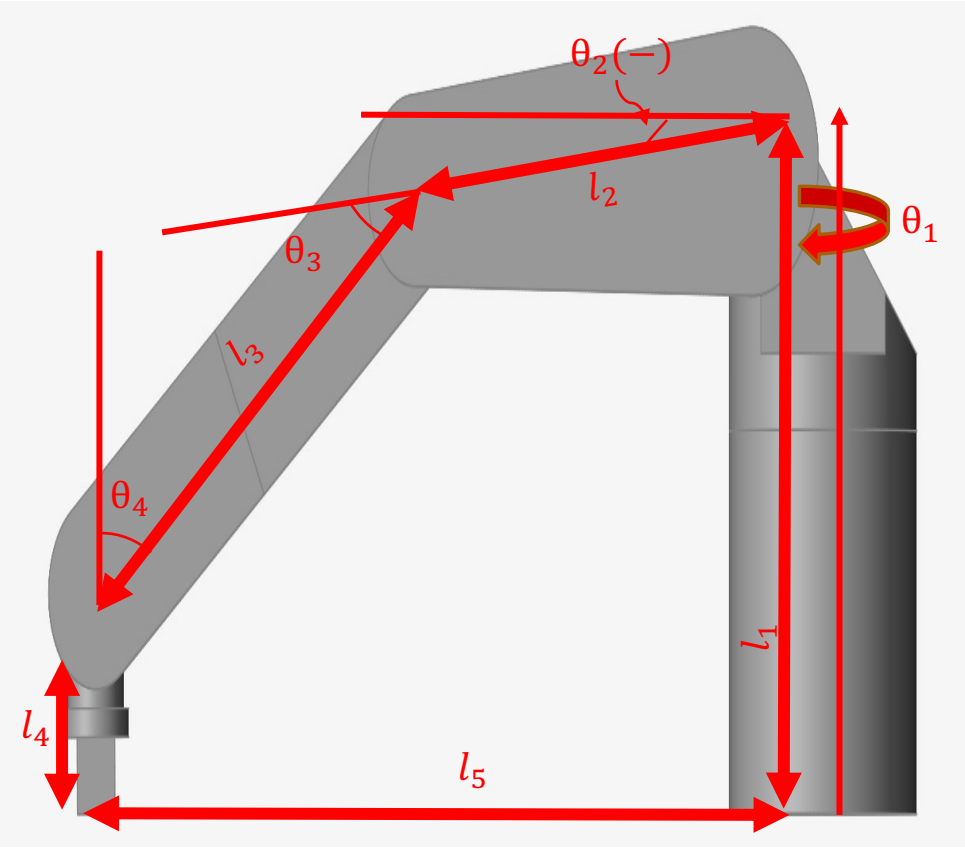
$$\theta_4 = sin^{-1}\left(\frac{-a l_5 \pm \sqrt{a^2 {l_5}^2 - (a^2 - {l_4}^2)({l_5}^2 + {l_4}^2)}}{{l_5}^2 + {l_4}^2}\right)$$

$$\theta_2 = sin^{-1}\left(\frac{l_4 + l_3 \cos\theta_4}{l_2}\right),\ \theta_3 = \frac{\pi}{2} + \theta_2 - \theta_4 (\text{rad})$$

2. 설계

2-3. 경로 해석(각도)

- 상자의 위치 별 관절 각도 정의(끝단)



각 부재 별 길이, 각도					
	l_1	l_2	l_3	l_4	l_5
길이(mm)	340	360	400	115	700
	θ_2	θ_3	θ_4		
각도(rad)	-0.0423	0.5095	1.019		
각도(˚)	-2.426	29.2	58.37		

l_5 : $\sqrt{b^2c^2-(b^2+1)(c^2-1)}$에서 $b^2c^2-(b^2+1)(c^2-1)\geq 0$ 을 만족하는 팔을 뻗었을 때의 Base부터 Load까지의 길이

2. 설계

2-3. 경로 해석

로봇 팔은 신체구조 중 팔을 대신하는 기관이다.

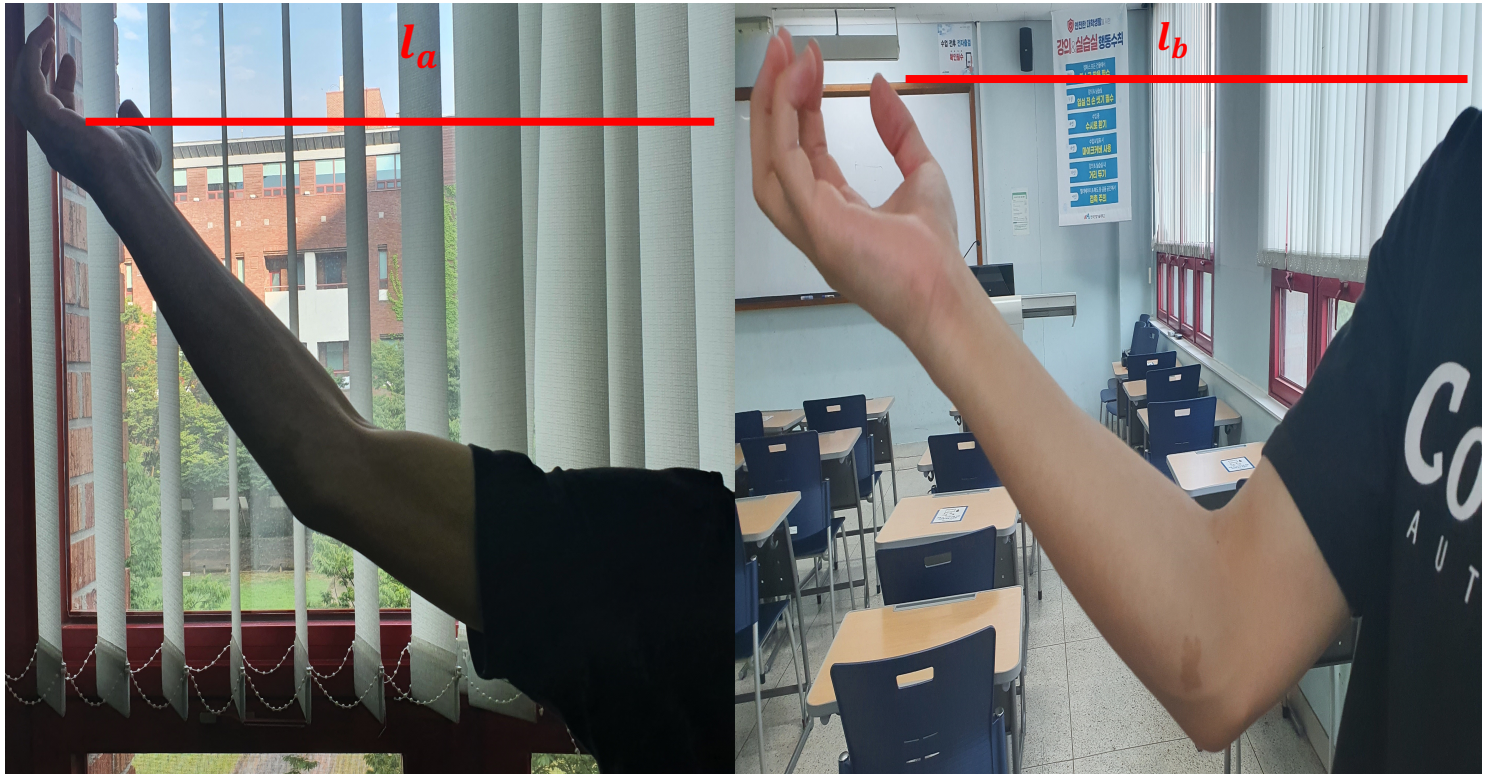
구조상 손이 윗부분으로 향할 때의 인체 관절구조가 로봇 팔이 아래로 향할 때의 관절구조와 같다.

따라서 경유점 l5길이를 정하기 위해, 사람 팔을 기준으로 180도 끝에서 끝으로 옮기는 모션에서의 끝점과 경유점의 l5길이비를 이용해서 로봇 팔의 경유점 길이를 구한다.

2. 설계

2-3. 경로 해석(각도)

- 상자의 위치 별 관절 각도 정의(경유점)



$l_a = 50cm, \qquad l_b = 30cm$

$l_a : l_b = l_{5(\text{끝점})} : l_{5(\text{경유})}$

$l_b \, l_{5(\text{끝점})} = l_a \, l_{5(\text{경유})}$

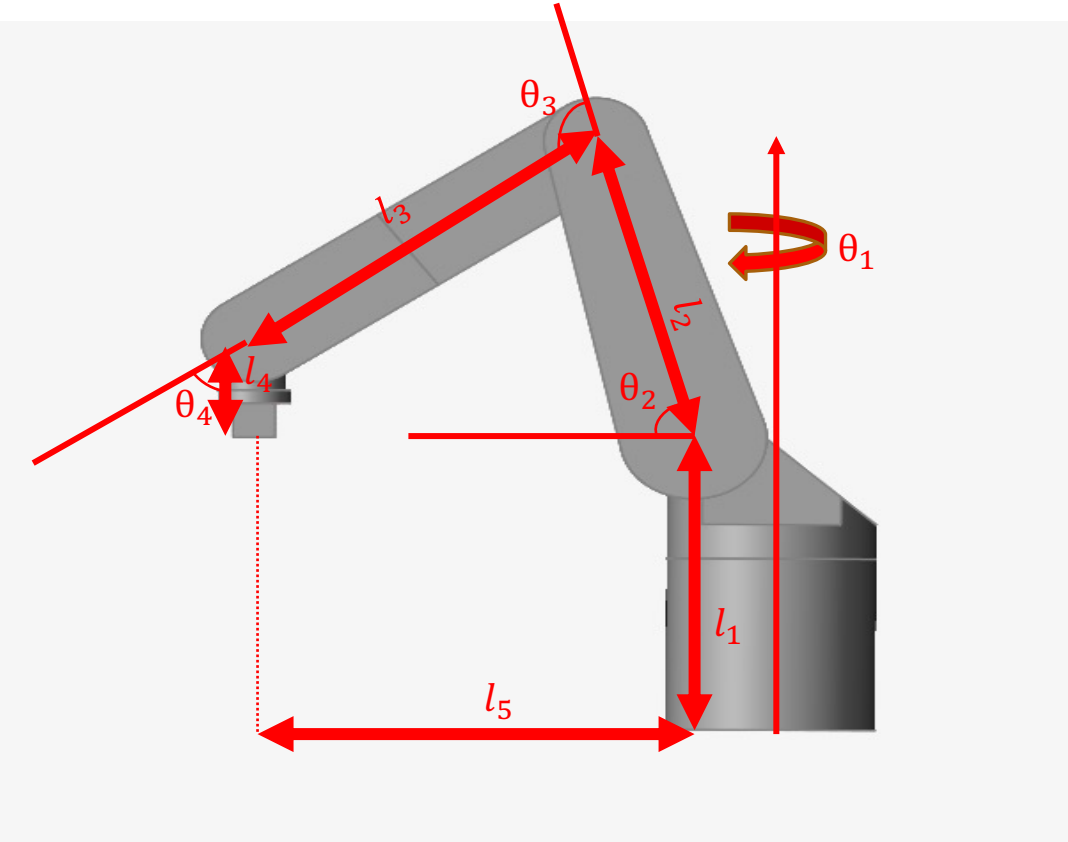
$$l_{5(\text{경유})} = \frac{l_b \, l_{5(\text{끝점})}}{l_a}$$

(l_a: 실제 끝점 형상에서의 길이,
l_b: 실제 경유점 형상에서의 길이)

2. 설계

2-3. 경로 해석(각도)

- 상자의 위치 별 관절 각도 정의(경유점)

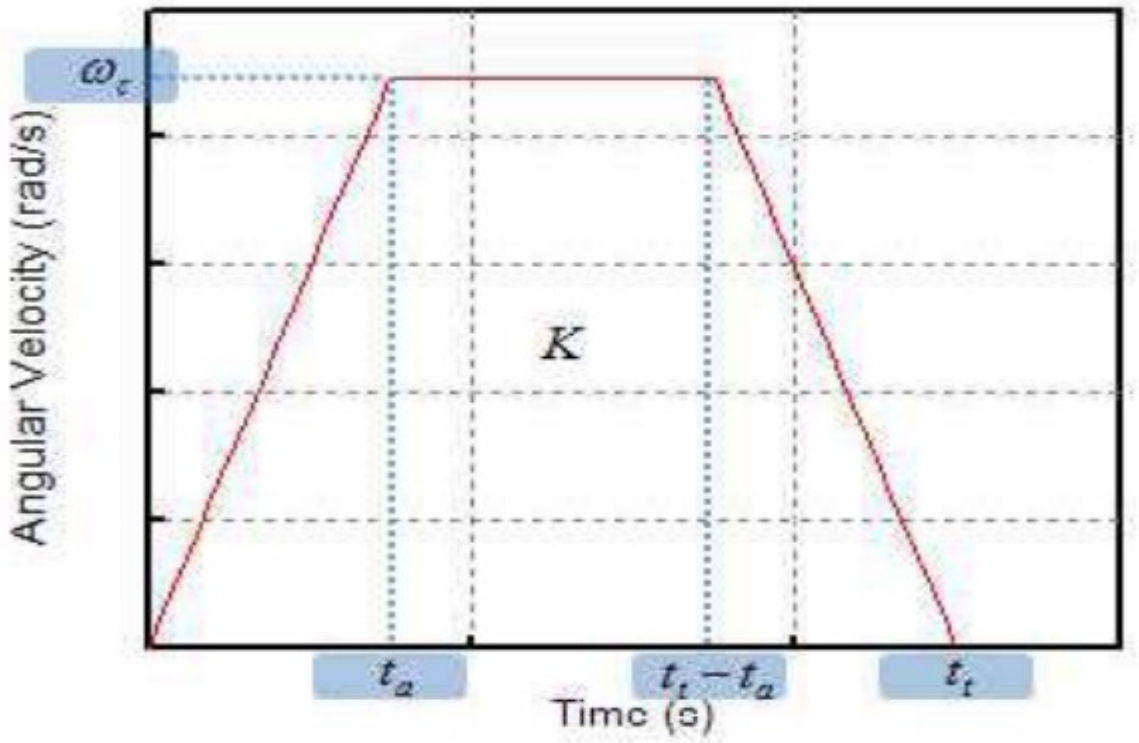


각 부재 별 길이, 각도					
	l_1	l_2	l_3	l_4	l_5
길이(mm)	340	360	400	115	420
	θ_2	θ_3	θ_4		
각도(rad)	1.306	1.926	0.9509		
각도(˚)	74.8	110.3	54.48		

l_5 : 앞에서 구했던 팔 형상 별 길이비를 이용하여 계산

2. 설계

2-3. 경로 해석(시간)



구동 시간 설계

$$W_C = \frac{K}{t_T - t_a}$$

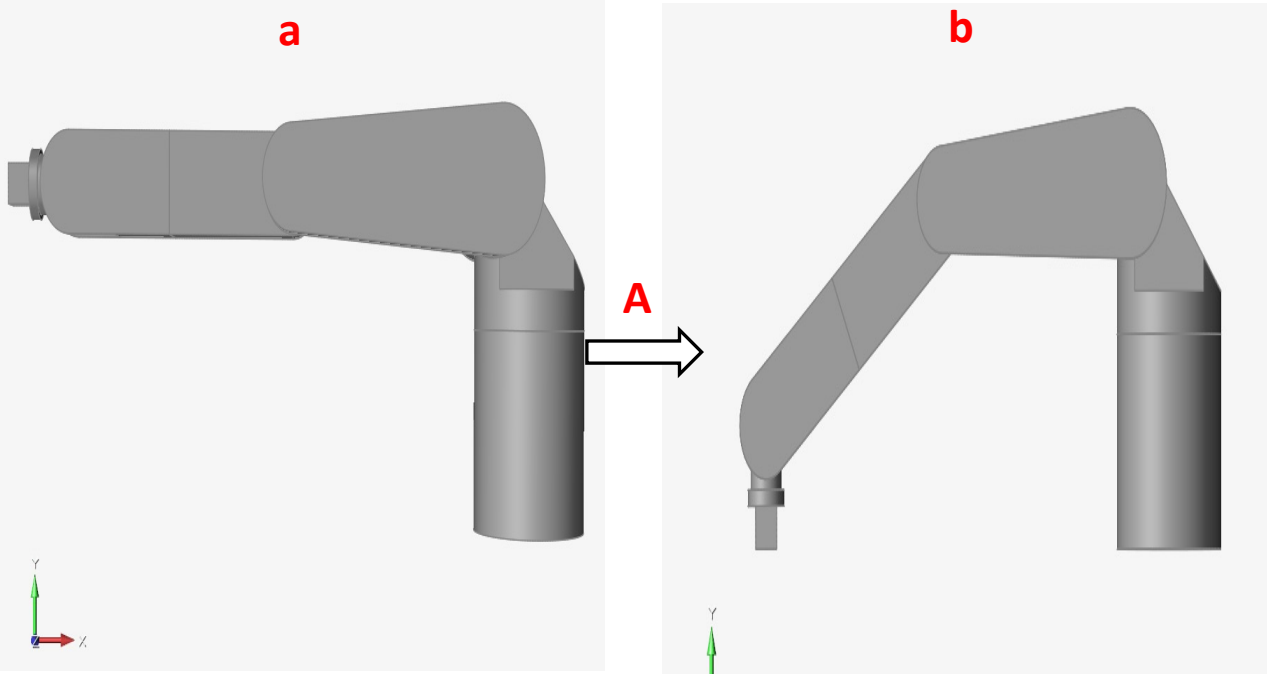
$$K = W_C(t_T - t_a)$$

$$t_T = t_a + \frac{K}{W_C}$$

(W_C: 각속도, K: 각변위, t_T: 총 시간, t_a: 가속 시간)

2. 설계

2-3. 경로 해석(시간)

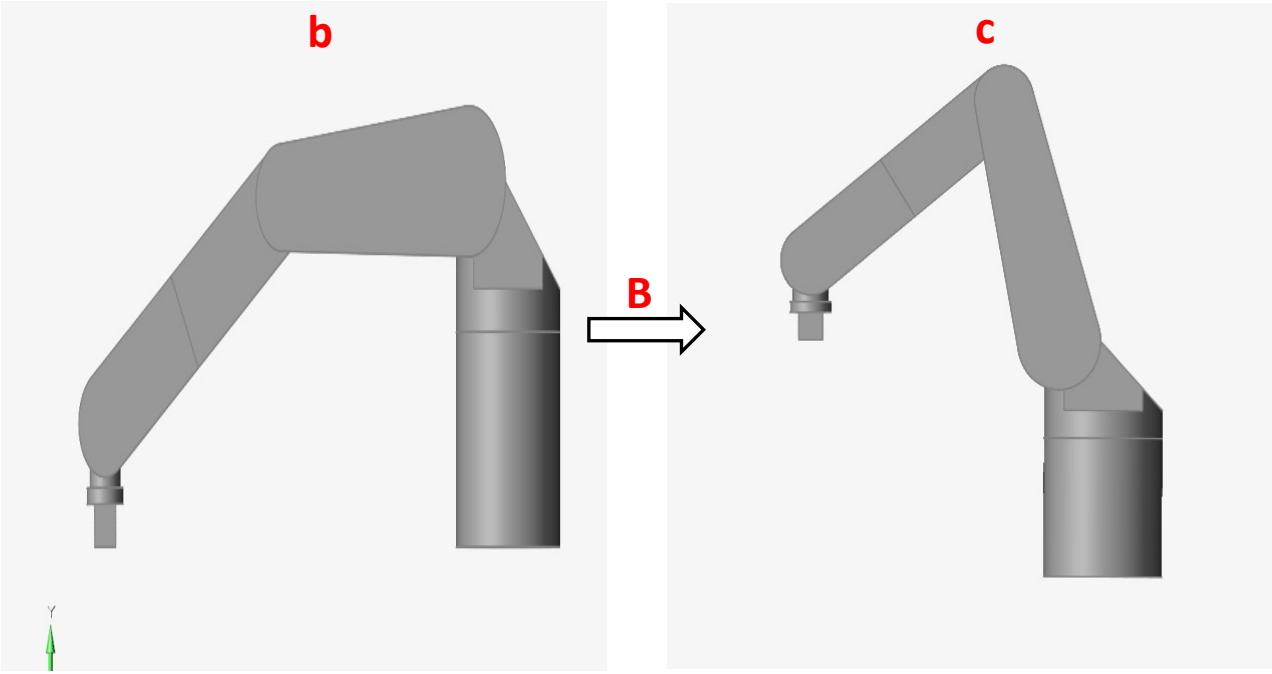


각 변위 K_A	수식	계산(rad)
K_{A1}	$\theta_{b1} - \theta_{a1}$	1.571-0=1.571
K_{A2}	$\theta_{b2} - \theta_{a2}$	-0.04234-0=-0.04234
K_{A3}	$\theta_{b3} - \theta_{a3}$	0.5095-0=0.5095
K_{A4}	$\theta_{b4} - \theta_{a4}$	1.019-0=1.019

시간	수식	계산(s)
t_{A1}	$t_a + \frac{\lvert K_{A1} \rvert}{W_1}$	$0.5 + \frac{\lvert 1.571 \rvert}{4.363}$=0.8601
t_{A2}	$t_a + \frac{\lvert K_{A2} \rvert}{W_2}$	$0.5 + \frac{\lvert -0.04234 \rvert}{4.363}$=0.5097
t_{A3}	$t_a + \frac{\lvert K_{A3} \rvert}{W_3}$	$0.5 + \frac{\lvert 0.5095 \rvert}{4.363}$=0.6168
t_{A4}	$t_a + \frac{\lvert K_{A4} \rvert}{W_4}$	$0.5 + \frac{\lvert 1.019 \rvert}{6.545}$=0.6557

2. 설계

2-3. 경로 해석(시간)

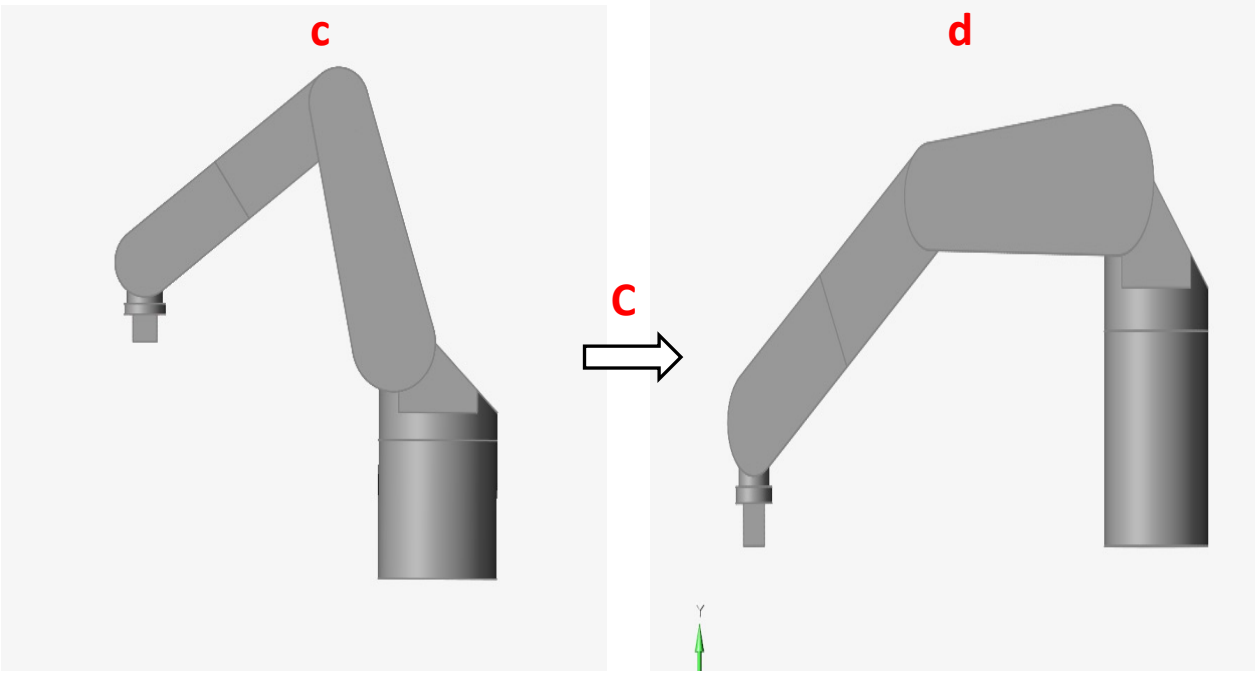


각 변위 K_B	수식	계산(rad)
K_{B1}	$\theta_{c1} - \theta_{b1}$	0-1.571=-1.571
K_{B2}	$\theta_{c2} - \theta_{b2}$	1.306-0.04234=1.348
K_{B3}	$\theta_{c3} - \theta_{b3}$	1.926-0.5095=1.417
K_{B4}	$\theta_{c4} - \theta_{b4}$	0.9509-1.019=-0.0681

시간	수식	계산(s)
t_{B1}	$t_a + \frac{\lvert K_{B1} \rvert}{W_1}$	$0.5 + \frac{\lvert -1.571 \rvert}{4.363}$=0.8601
t_{B2}	$t_a + \frac{\lvert K_{B2} \rvert}{W_2}$	$0.5 + \frac{\lvert 1.348 \rvert}{4.363}$=0.8090
t_{B3}	$t_a + \frac{\lvert K_{B3} \rvert}{W_3}$	$0.5 + \frac{\lvert 1.417 \rvert}{4.363}$=0.8248
t_{B4}	$t_a + \frac{\lvert K_{B4} \rvert}{W_4}$	$0.5 + \frac{\lvert -0.0681 \rvert}{6.545}$=0.5104

2. 설계

2-3. 경로 해석(시간)



각 변위 K_C	수식	계산(rad)
K_{C1}	$\theta_{d1} - \theta_{c1}$	-1.571-0=-1.571
K_{C2}	$\theta_{d2} - \theta_{c2}$	-0.04234-1.306=-1.348
K_{C3}	$\theta_{d3} - \theta_{c3}$	0.5095-1.926=-1.417
K_{C4}	$\theta_{d4} - \theta_{c4}$	1.019-0.9509=0.0681

시간	수식	계산(s)
t_{C1}	$t_a + \frac{\lvert K_{C1} \rvert}{W_1}$	$0.5 + \frac{\lvert -1.571 \rvert}{4.363}$=0.8601
t_{C2}	$t_a + \frac{\lvert K_{C2} \rvert}{W_2}$	$0.5 + \frac{\lvert -1.348 \rvert}{4.363}$=0.8090
t_{C3}	$t_a + \frac{\lvert K_{C3} \rvert}{W_3}$	$0.5 + \frac{\lvert -1.417 \rvert}{4.363}$=0.8248
t_{C4}	$t_a + \frac{\lvert K_{C4} \rvert}{W_4}$	$0.5 + \frac{\lvert 0.0681 \rvert}{6.545}$=0.5104

2. 설계

2-3. 경로 해석(시간)

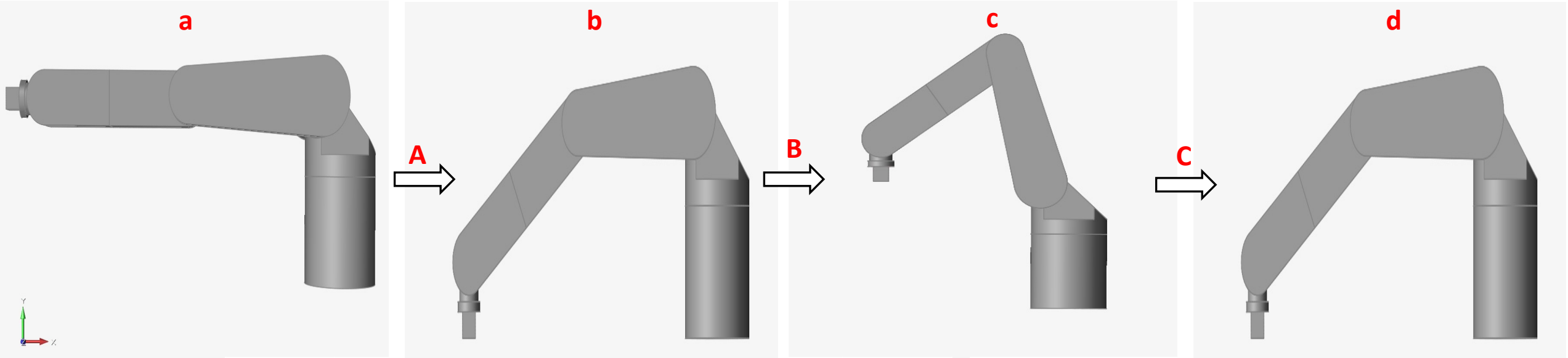
초기 위치, 끝점, 경유점에서의 관절 별 각도 값들이 충분히 구현되기 전에 다음 단계로 진행해 버리면 원하는 프로파일을 만들어낼 수 없다.

⇩

각도가 충분히 구현될 수 있도록 중간에 휴식시간을 충분히 부여한다.

2. 설계

2-3. 경로 해석(시간)



총 변위	시간	휴식
K_{A1}	0.8601	2
K_{A2}	0.5097	2
K_{A3}	0.6168	2
K_{A4}	0.6557	2

총 변위	시간	휴식
$K_{A1} + K_{B1}$	2.8601	2.8601
$K_{A2} + K_{B2}$	2.809	2.8601
$K_{A2} + K_{B3}$	2.825	2.8601
$K_{A2} + K_{B4}$	2.51	2.8601

총 변위	시간	휴식
$K_{A1} + K_{B1} + K_{C1}$	3.72	4
$K_{A2} + K_{B2} + K_{C2}$	3.669	4
$K_{A3} + K_{B3} + K_{C3}$	3.685	4
$K_{A4} + K_{B4} + K_{C4}$	3.37	4

2. 설계

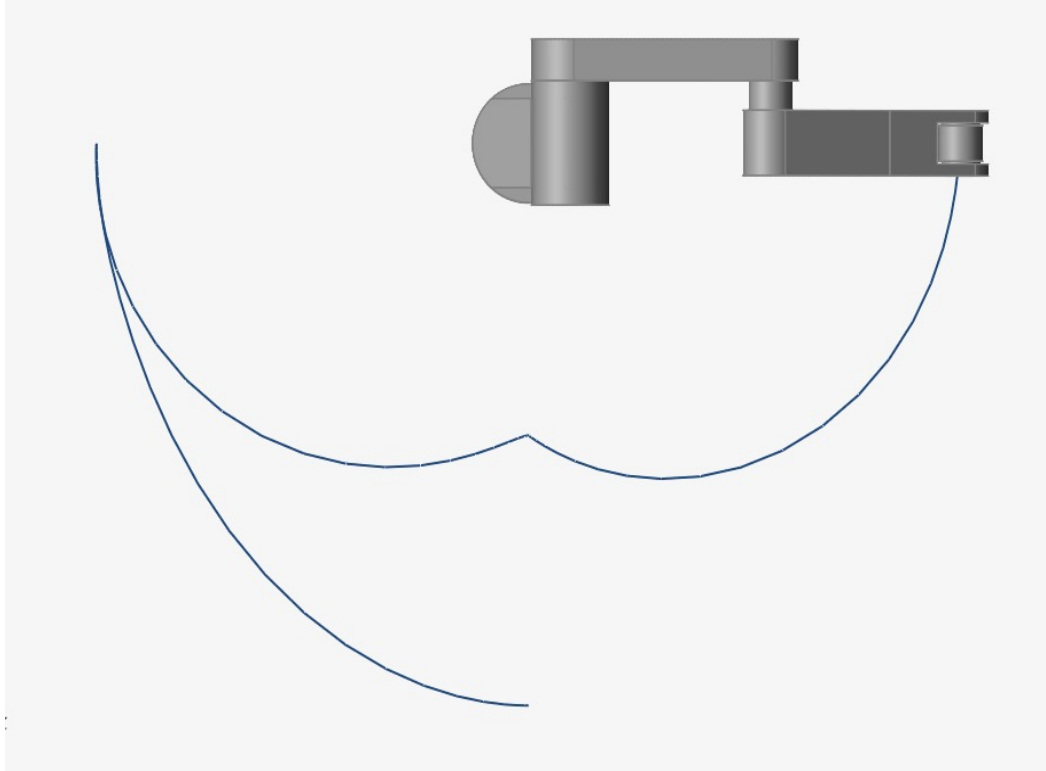
2-3. 경로 설정 후 모션

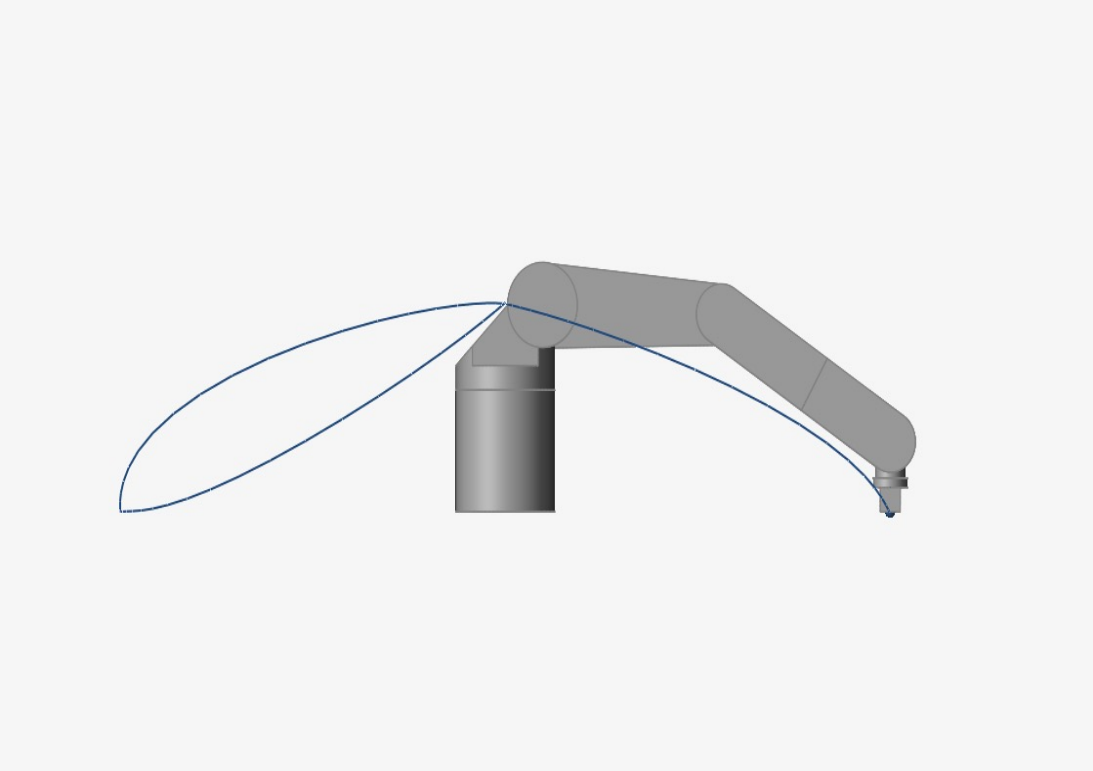
완성된 모션

2. 설계

2-3. 경로 해석

- 완성된 로봇 팔 끝점의 경로

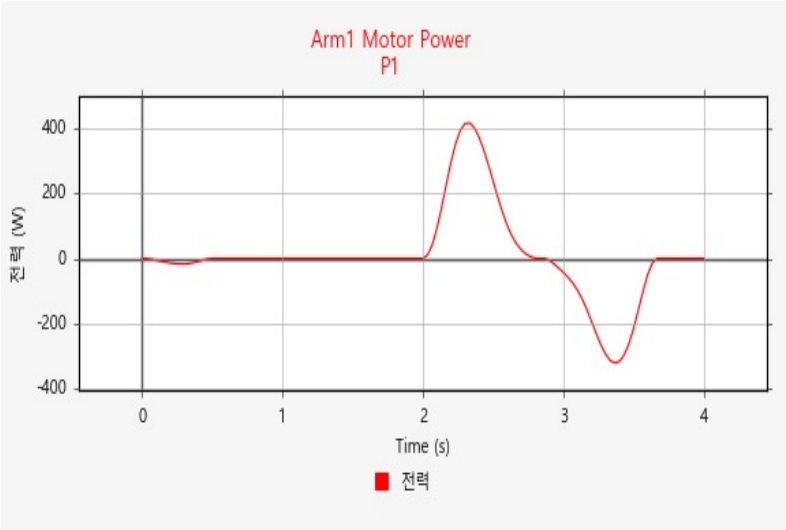




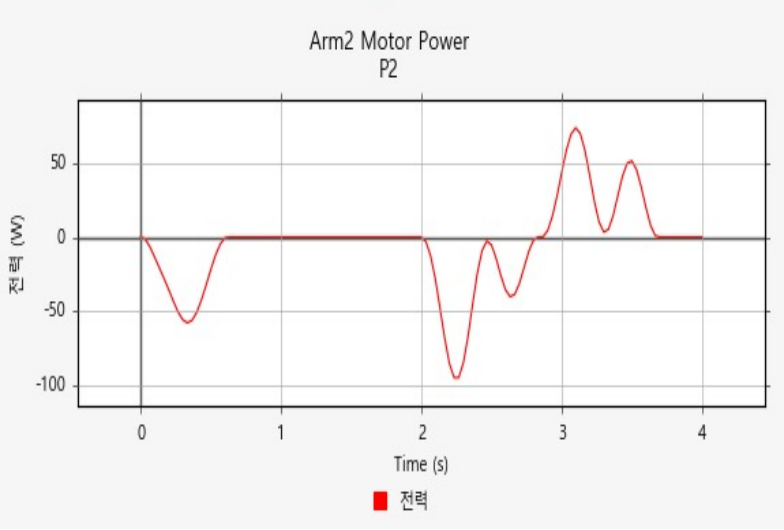
2. 설계

2-3. 경로 해석

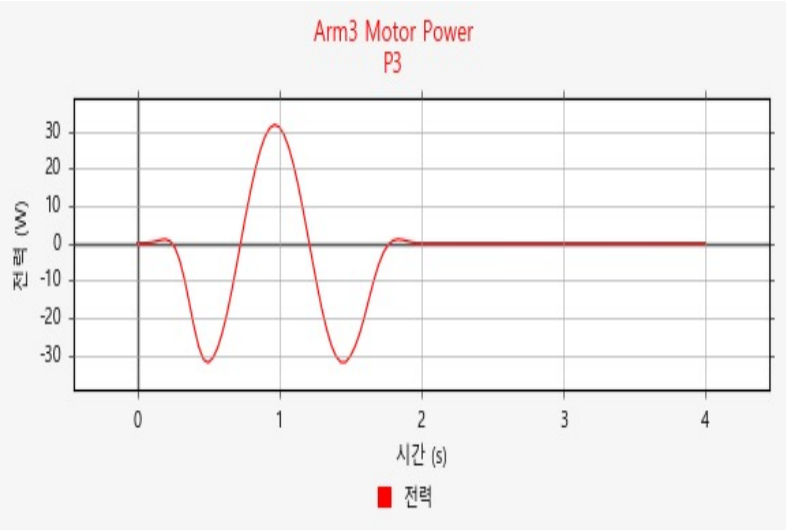
- 경로 해석간 요구되는 동력의 최댓값 및 평균값



Arm1 시간-전력 그래프



Arm2 시간-전력 그래프



Arm3 시간-전력 그래프

$P_{1Max} = 418.5\mathrm{W}$

$|P_{1avg}| = 69.28W$

$P_{2Max} = -94.33\mathrm{W}$

$|P_{2avg}| = 18.09W$

$P_{3Max} = -32.13\mathrm{W}$

$|P_{3avg}| = 7.227W$

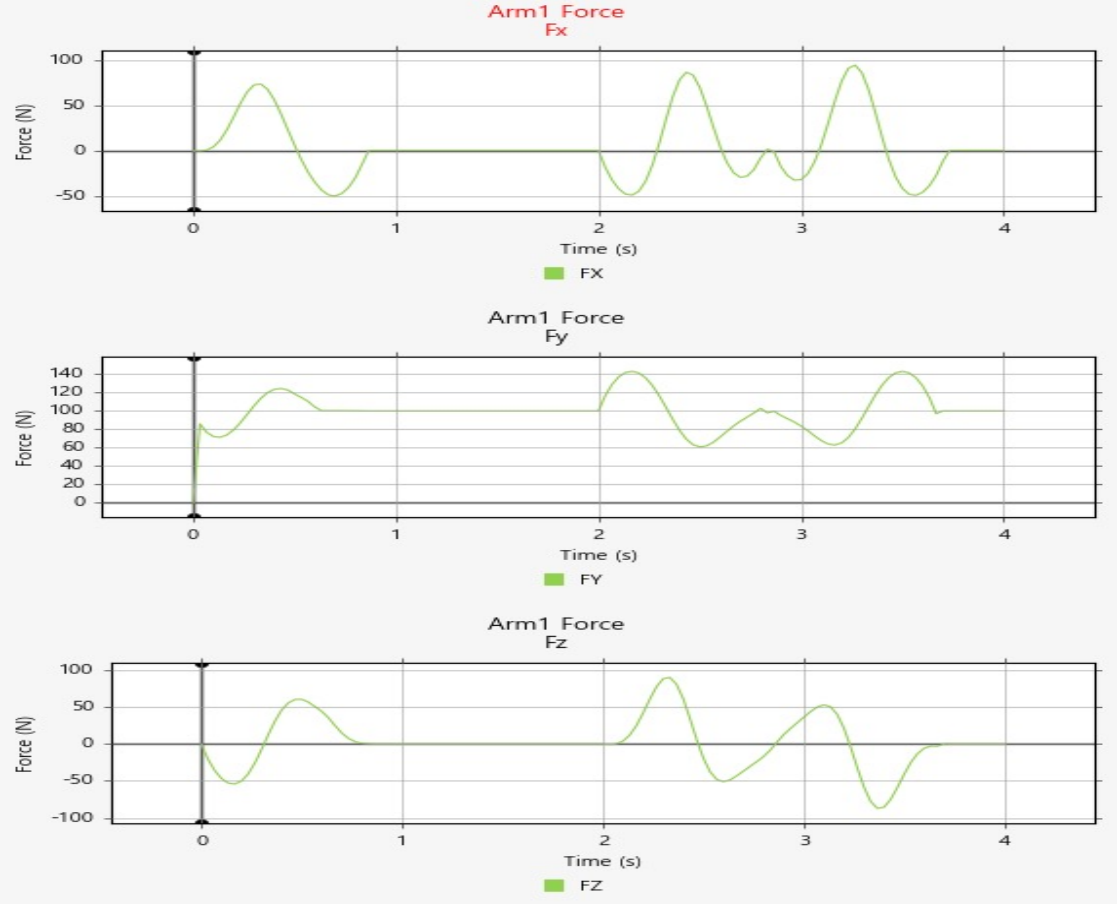
2. 설계

진행 순서

경로해석 → **동하중 도출** → 등가하중 해석

2. 설계

2-4. 부재 별 최대 동하중 도출(Arm1)

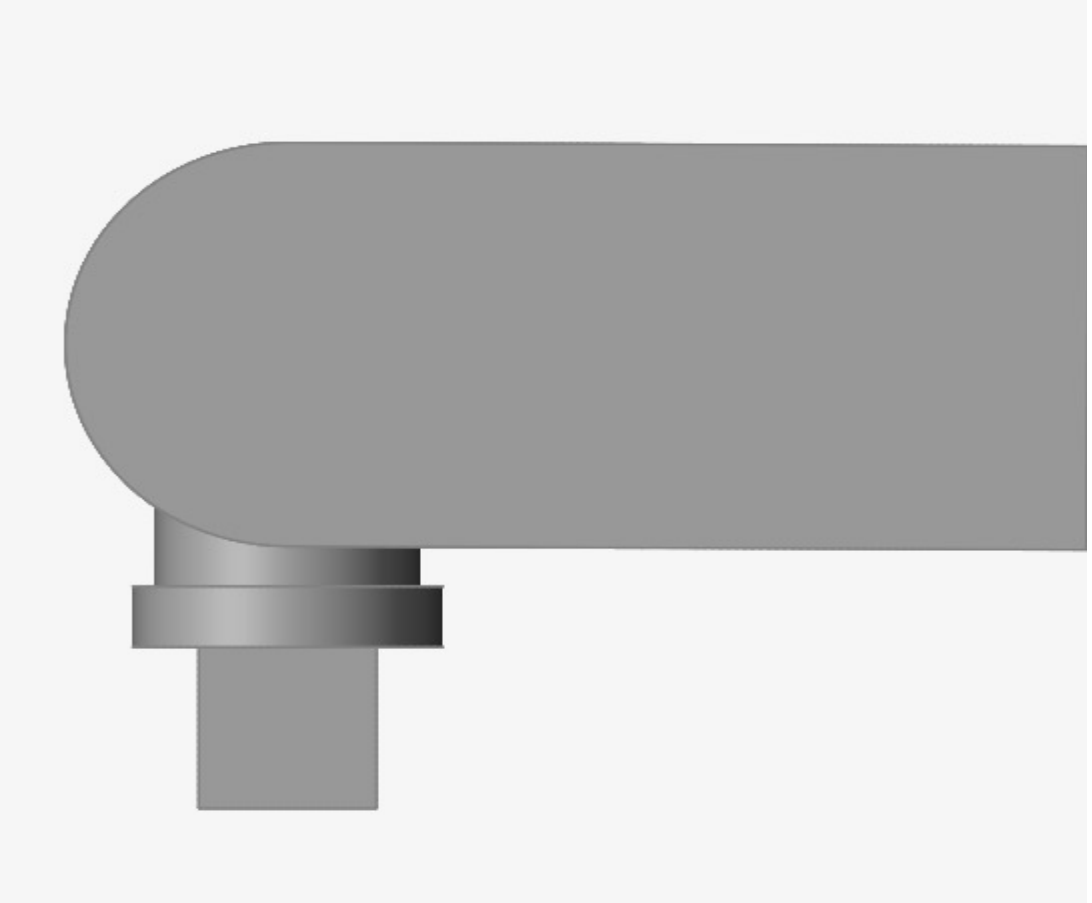


Arm1 x,y,z 방향 최대 하중

Arm1 Force max(N)		
F_{1x}	F_{1y}	F_{1z}
94.58	142.3	89.82

2. 설계

2-4. 부재 별 최대 동하중 도출(Arm3)

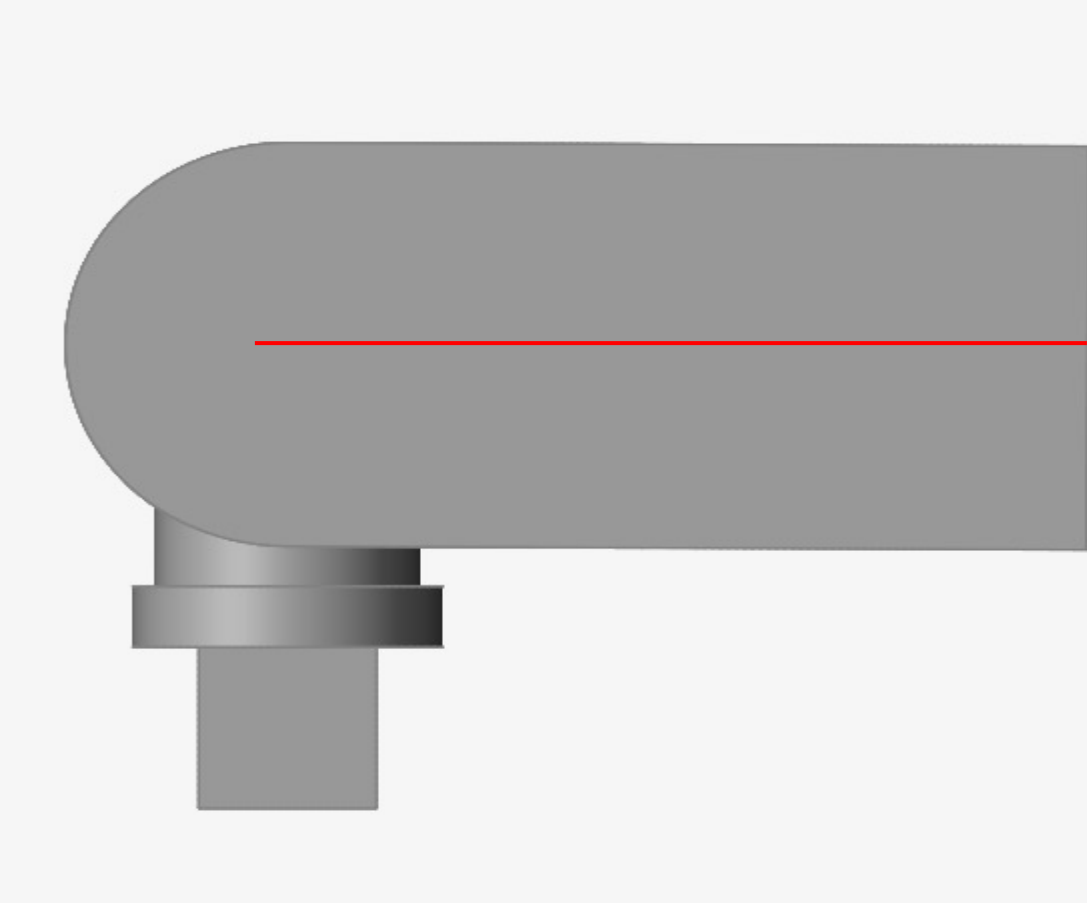


Arm3의 회전이 고려되지 않았으므로
따로 회전효과 Iα 를 부여할 필요가
있다.

관성모멘트가 가장 큰 형상일 때의 각가속도를
이용하여 회전효과를 부여한다.

2. 설계

2-4. 부재 별 최대 동하중 도출(Arm3)

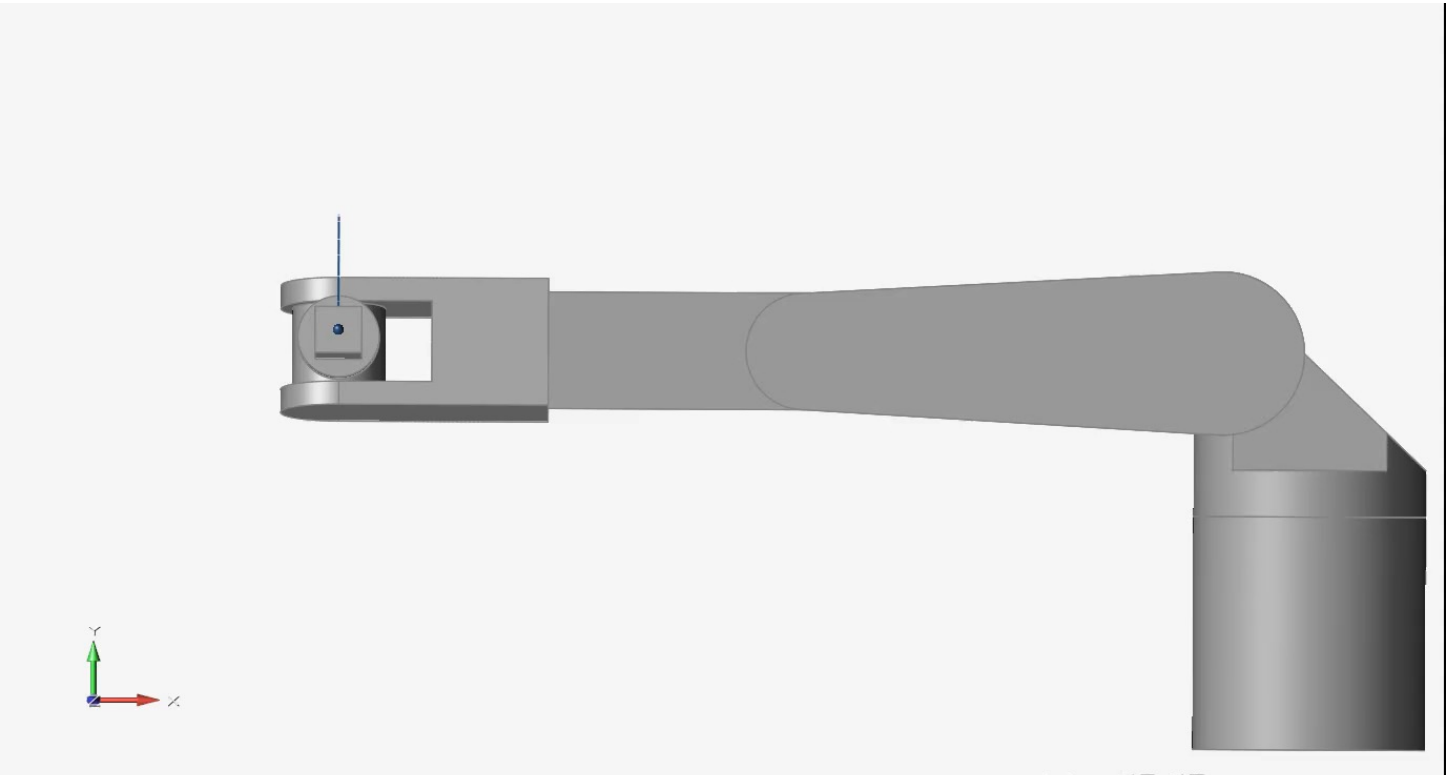


축에서 질량들이 가장 멀리 떨어져 있을 때가 관성모멘트가 가장 큰 형상

→ I = 0.02489kg·m^2

2. 설계

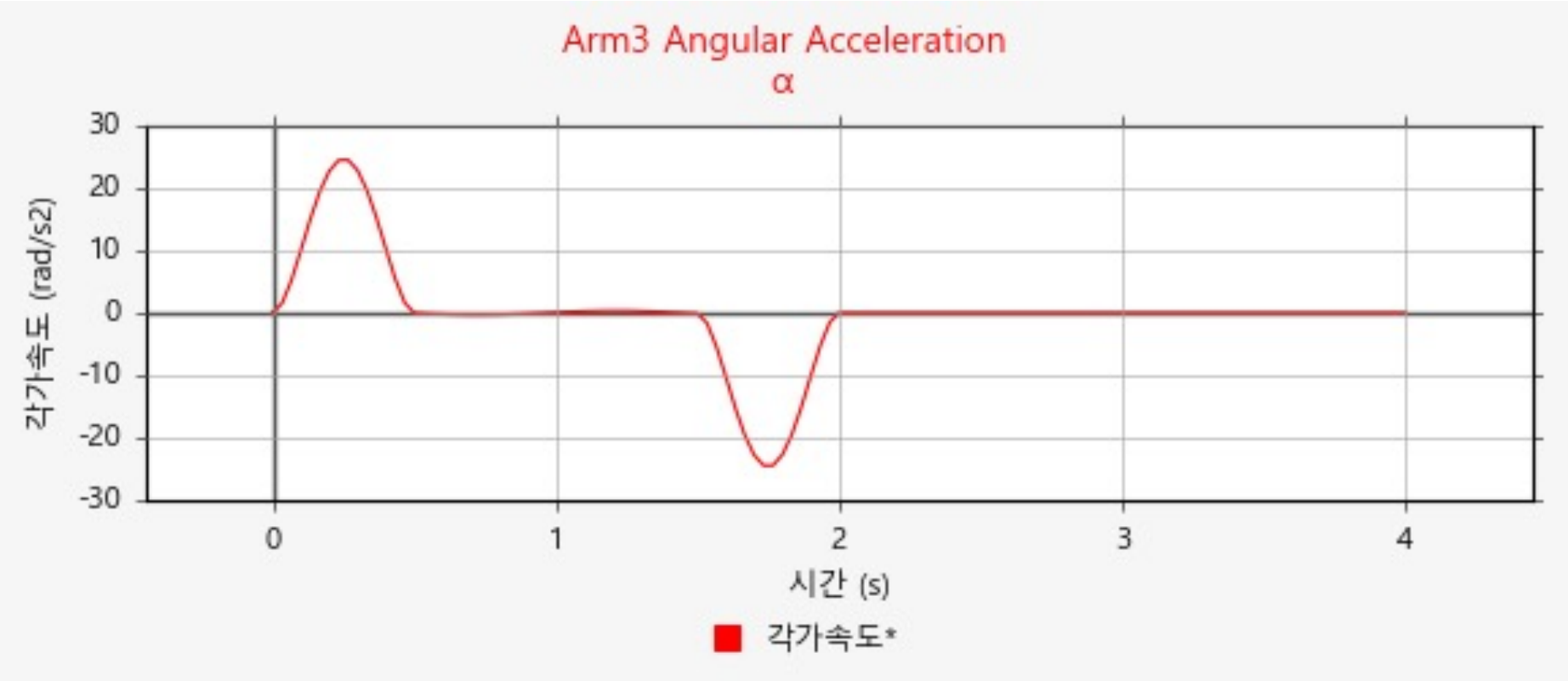
2-4. 부재 별 최대 동하중 도출(Arm3)



관성모멘트가 가장 큰 형상에서의 모션

2. 설계

2-4. 부재 별 최대 동하중 도출(Arm3)

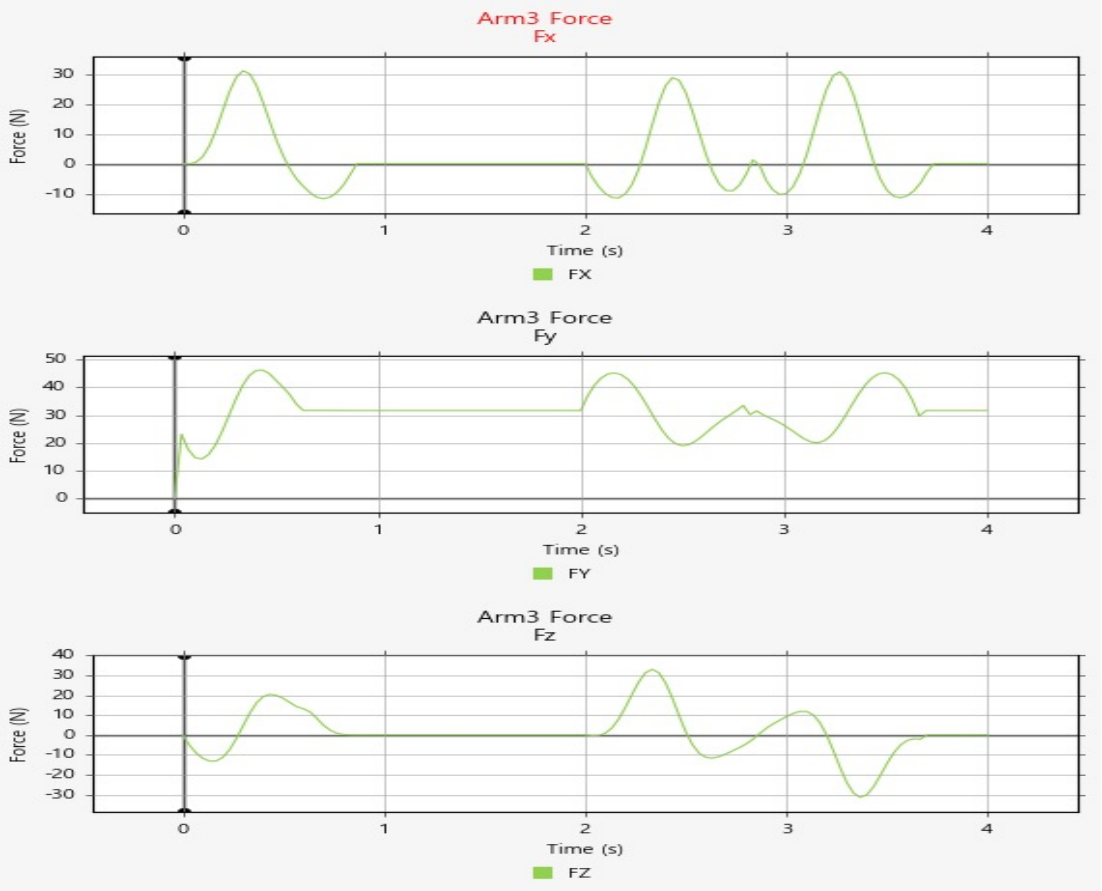


관성모멘트가 가장 큰 형상을 회전시켰을 때의 최대 각 가속도를 사용

α_{max}=24.51rad/s^2

2. 설계

2-4. 부재 별 최대 동하중 도출(Arm3)



Arm3 x,y,z 방향 최대 하중

Arm3 Force max(N)		
F_{3x}	F_{3y}	F_{3z}
31.18	46.28	32.98

Arm3-2 경계 축에 걸리는 토크는

$I\alpha_{max}$=0.6101N·m

2. 설계

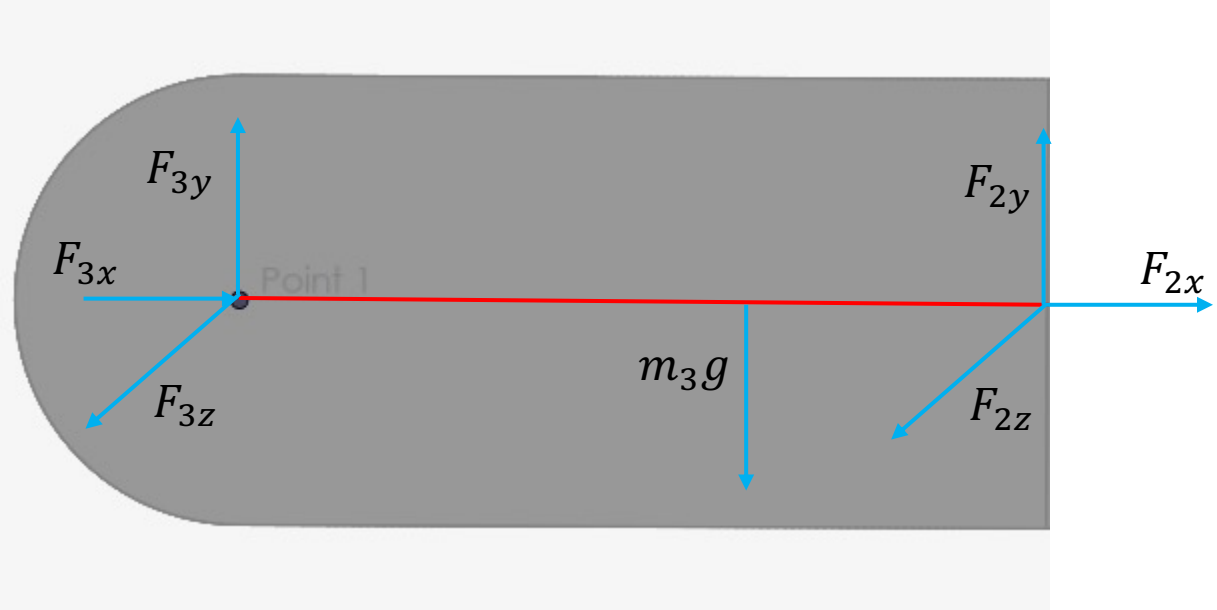
2-4. 부재 별 최대 동하중 도출(Arm2)

Arm2의 경우 동하중이 부여되어야 하는 조인트가 강체로 구속되어 있다.

따라서, 동하중 데이터를 추출하기 어렵기 때문에 해당 조인트가 자유롭게 움직일 때의 구속조건 여부와 Arm3에서 작용하는 최대 동하중을 이용해 Arm2에 작용하는 최대 동하중을 구한다.

2. 설계

2-4. 부재 별 최대 동하중 도출(Arm2)



(l: 2부터 3까지의 거리, l_g= 2부터 무게중심까지의 거리)

$\Sigma F_x = 2F_{3x} + F_{2x} = 0,\ F_{2x} = -2F_{3x}$

F_{2x} = -62.36N

$\Sigma F_y = 0,\ 2F_{3y} - m_3 g + F_{2y} = 0$

F_{2y}=-51.83N

$\Sigma M_z = 0$

$-2F_{3y} l + m_3 g l_g + M_{2z} = 0$

M_{2z}=-13.19N·m

$\Sigma F_z = 2F_{3z} + F_{2z} = 0,\ F_{2z} = -2F_{3z}$

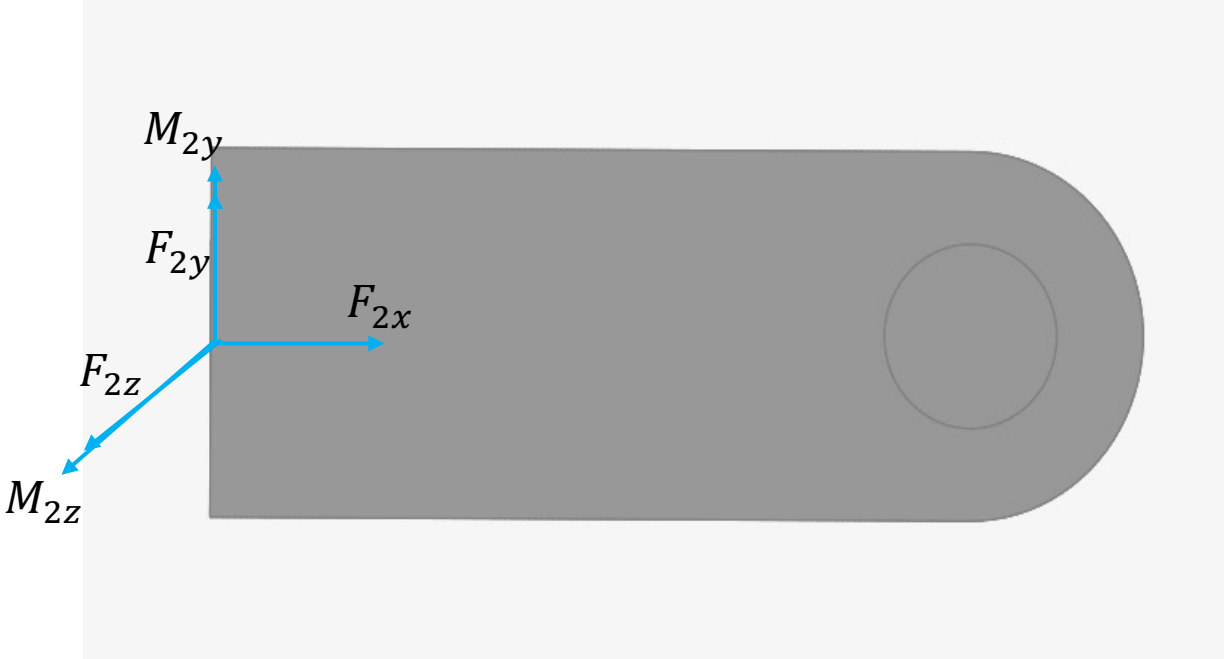
F_{2z} = -65.96N

$\Sigma M_y = 0$

$2F_{3z} l + M_{2y} = 0,\ M_{2y}$=-11.87N·m

2. 설계

2-4. 부재 별 최대 동하중 도출(Arm2)



(Arm3에서 작용하는 동 하중을 이용해 Arm2에서 작용하는 동 하중 및 모멘트 도출)

Arm2 Force max(N)		
F_{2x}	F_{2y}	F_{2z}
-62.36	-51.83	-65.96

Arm2 Moment max(N·m)		
M_{2x}	M_{2y}	M_{2z}
0	-13.19	-11.87

2. 설계

진행 순서

경로해석 → 동하중 도출 → **등가하중 해석**

2. 설계

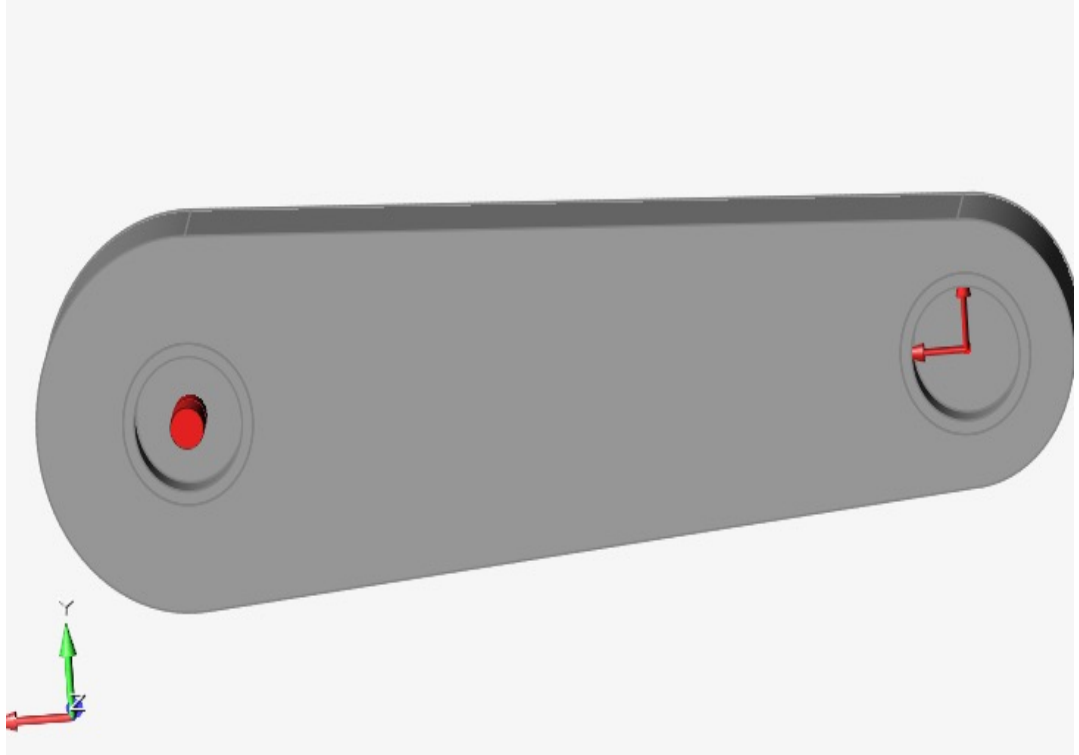
2-5. 등가하중 해석

Arm1, Arm2, Arm3의 움직임을 고려해 등가로
경계조건을 부여하고 계산한 최대 하중들을 이용하여
등가 정적해석을 진행한다.

2. 설계

2-5. 등가하중 해석(Arm1)

- 경계조건, 하중 정의

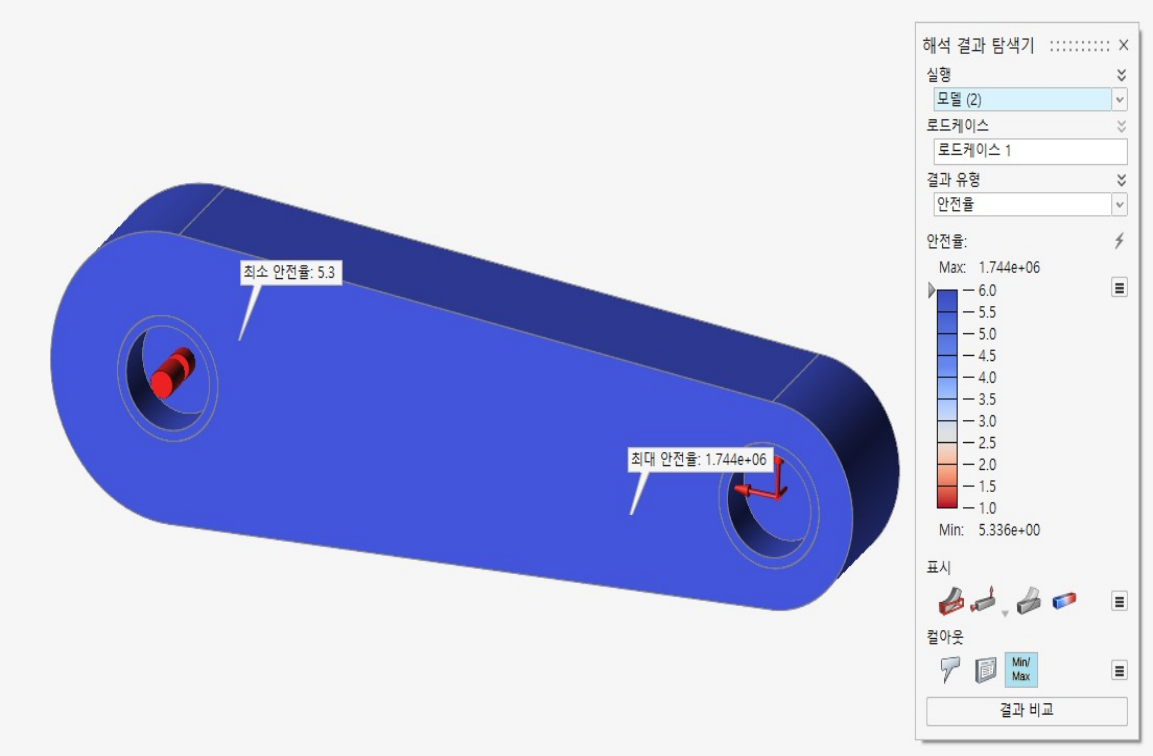


Arm1 경계조건, 하중

Arm1과 회전하는 Base 연결 부분을 경계조건으로 고정하고, Arm2와 1사이의 회전하는 부분에 등가하중을 부여하고, 중력을 고려한다.

2. 설계

2-5. 등가하중 해석(Arm1)



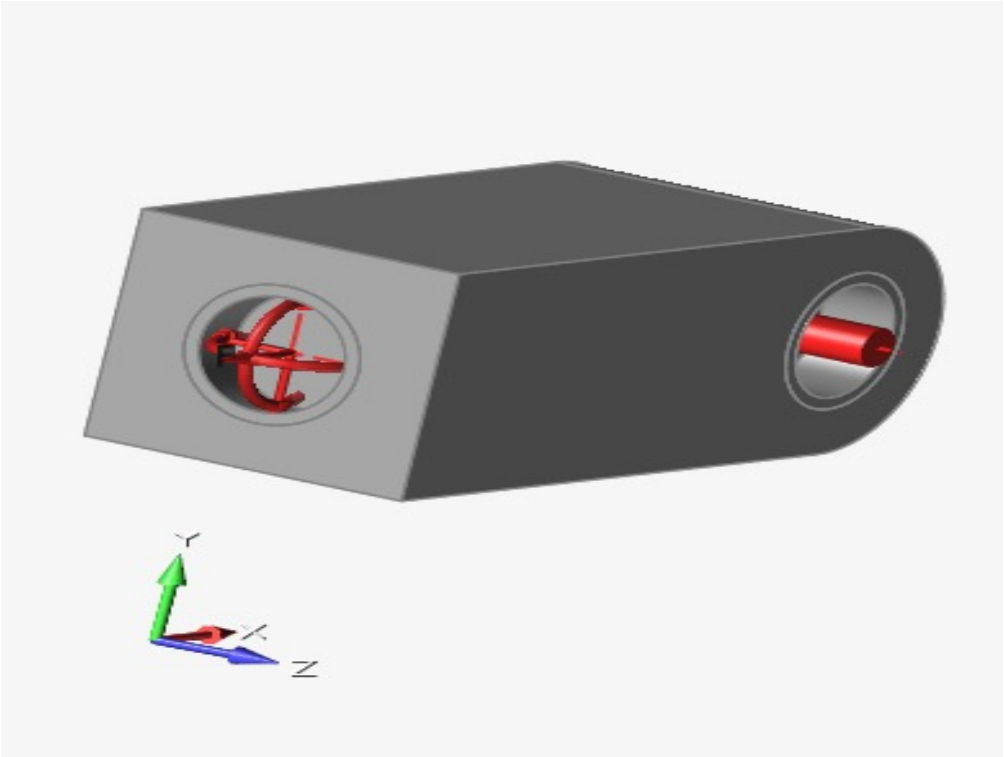
Arm1 해석결과

최소 안전율이 5.3으로 안전하다.
하지만 상대적으로 Arm2, Arm3에 비해 최소 안전율이 낮기 때문에 강성 50% 최대화 설계를 진행한다.

2. 설계

2-5. 등가하중 해석(Arm2)

- 경계조건, 하중 정의

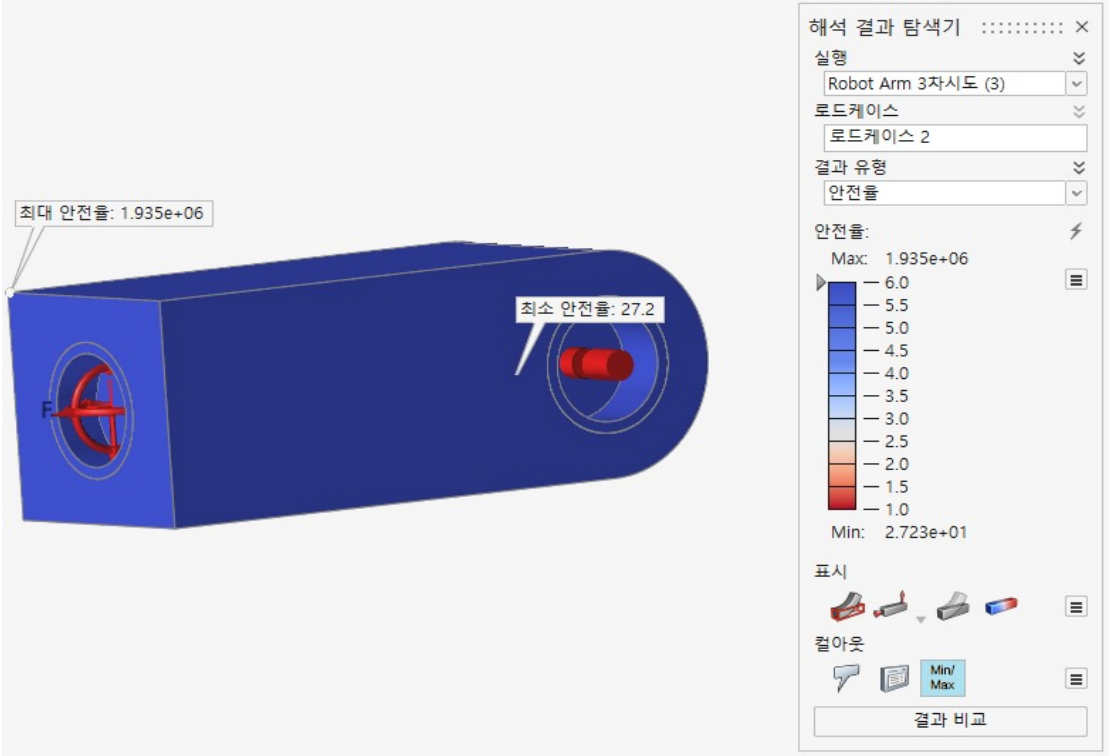


Arm2 경계조건, 하중

Arm2와 Arm1 사이 부분을 경계조건으로 고정하고,
Arm2와 Arm3사이의 회전하는 부분에
등가하중 및 모멘트를 부여하고, 중력을 고려한다.

2. 설계

2-5. 등가하중 해석(Arm2)



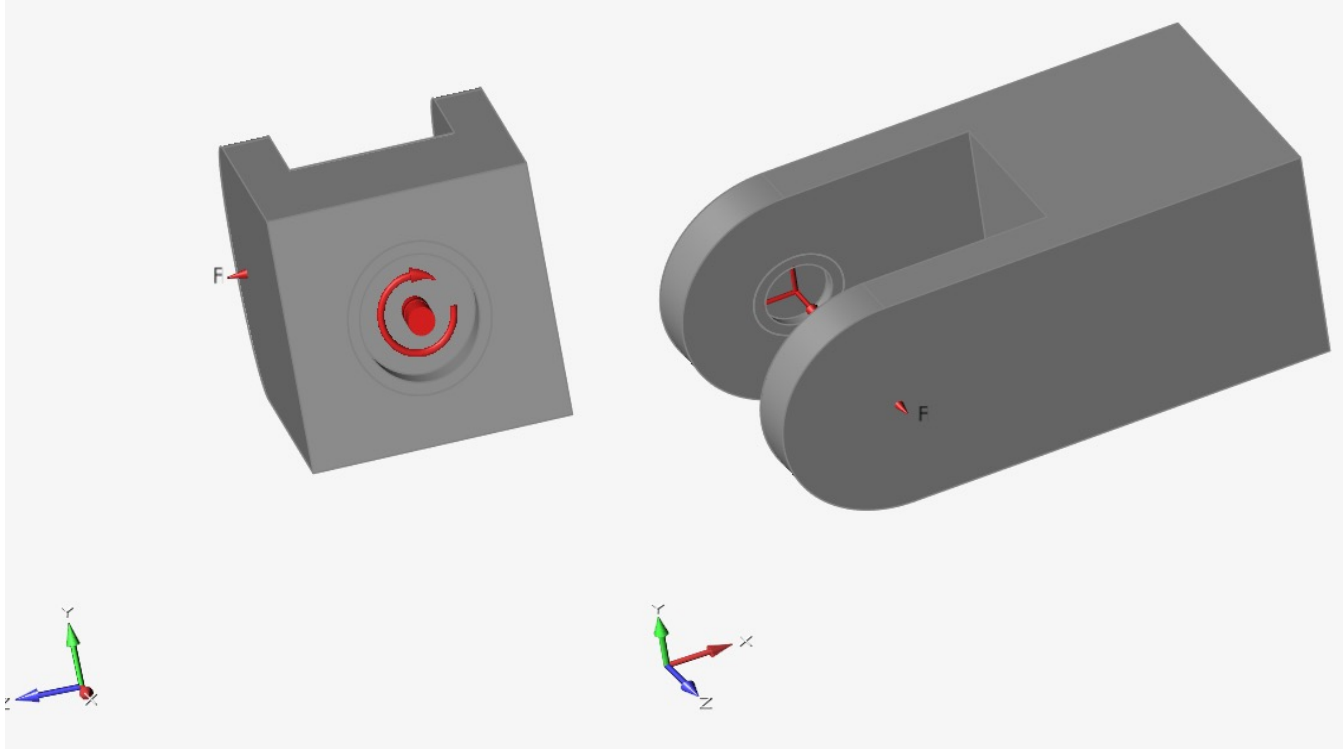
Arm2 해석결과

최소 안전율이 27.2으로 충분하기 때문에 강성 30% 최대화를 이용하여 위상최적화 설계를 진행한다.

2. 설계

2-5. 등가하중 해석(Arm3)

- 경계조건, 하중 정의

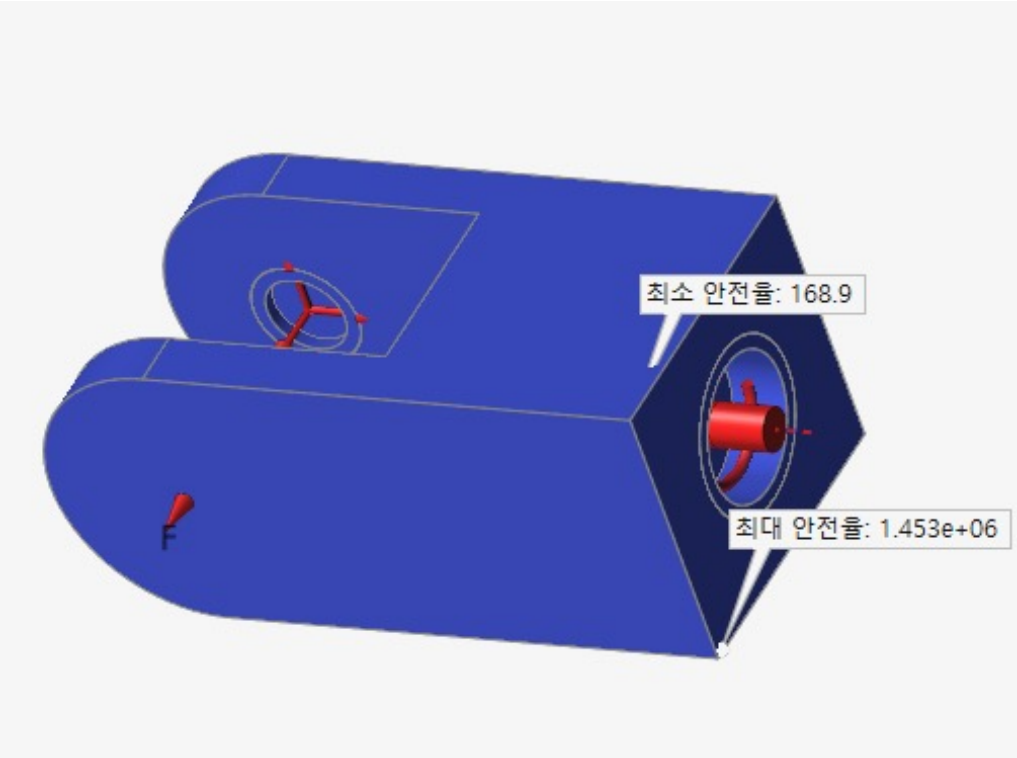


Arm3 관성토크, 하중 및 경계조건

Arm2와 Arm3 사이 부분을 경계조건으로 고정하고, Arm3와 Load사이의 회전하는 부분에 등가하중 및 모멘트를 부여하고, 중력을 고려한다.

2. 설계

2-5. 등가하중 해석(Arm3)



Arm3 해석결과

최소 안전율이 168.9으로 충분하기 때문에 강성 20% 최대화를 이용하여 위상최적화 설계를 진행한다.

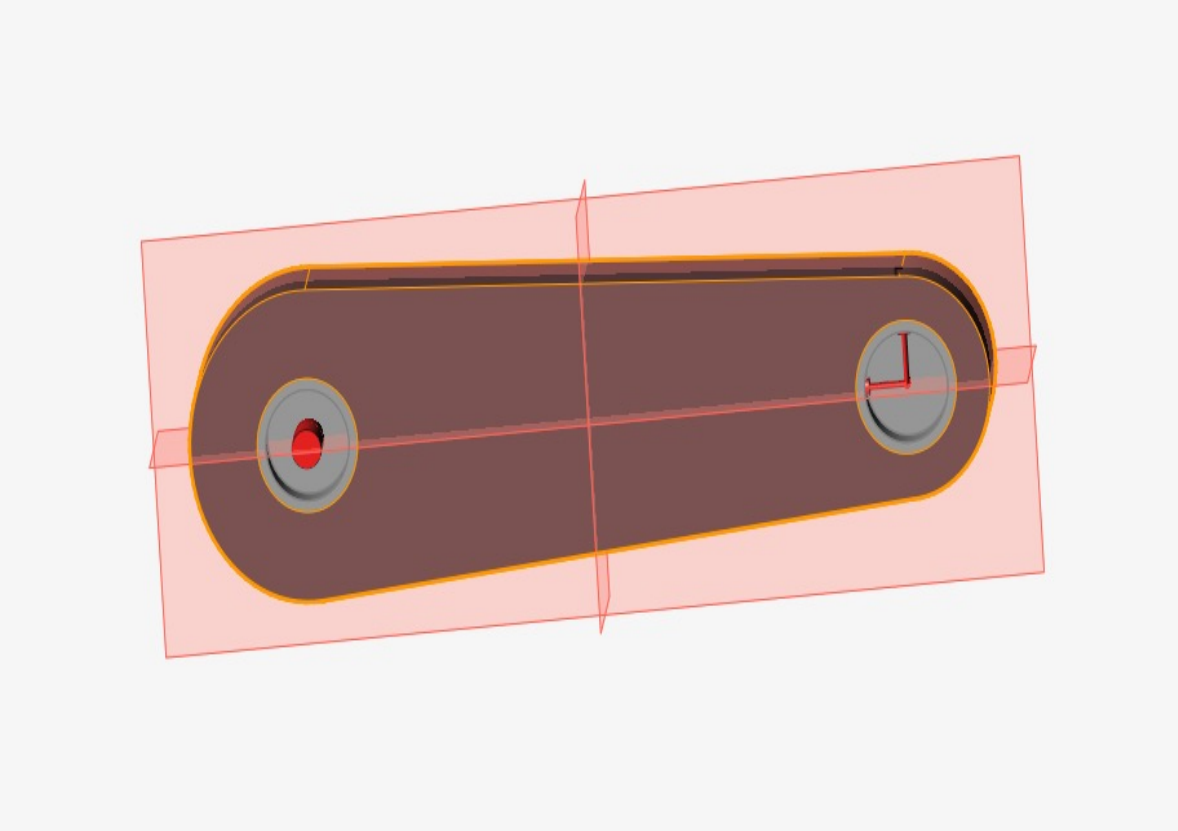
3. 최적화 설계

3. 최적화 설계

진행 순서

Arm1 → Arm2 → Arm3

3. 최적화 설계

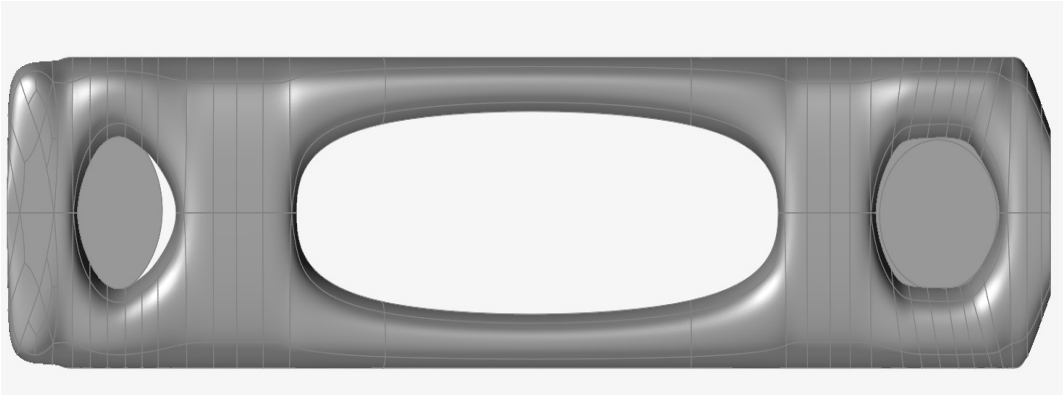


Arm1 디자인 영역

한 쪽에 질량이 몰리거나 끊기는 현상을 방지하기 위해서 완전 대칭 형상이 되도록 설계한다.

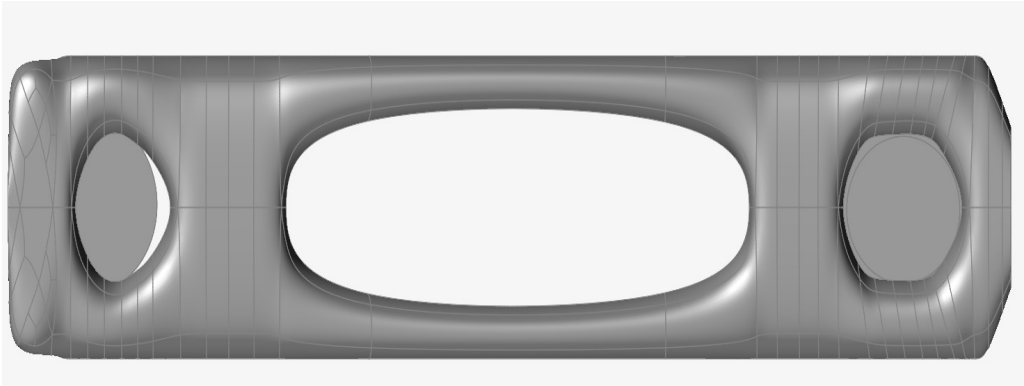
3. 최적화 설계

강성 50% 최적화



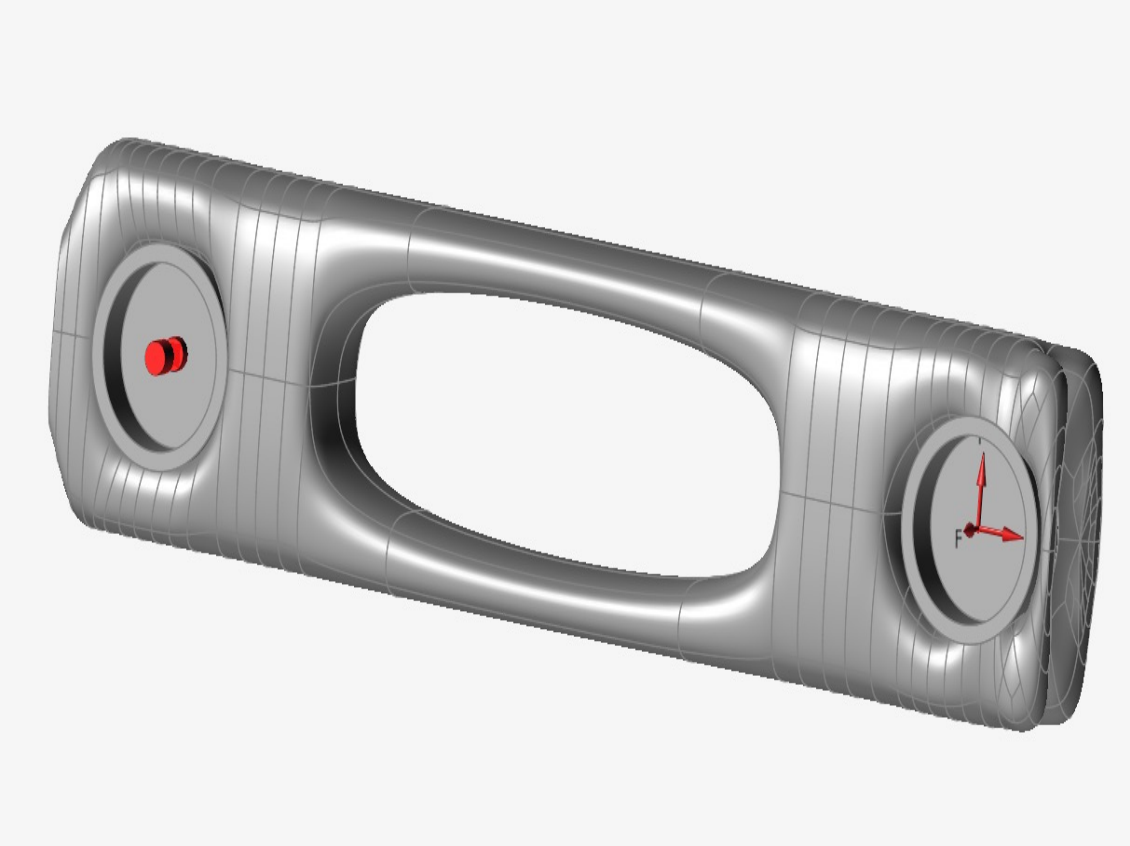
강성 50% 최적화 Polynurbs 적용
면을 매끄럽게 만들고 불필요한 형상 제거

3. 최적화 설계



최적화 전 Arm1 질량: 10.104kg → 질량 변화율: -53.56% → 최적화 후 Arm1 질량: 4.692kg

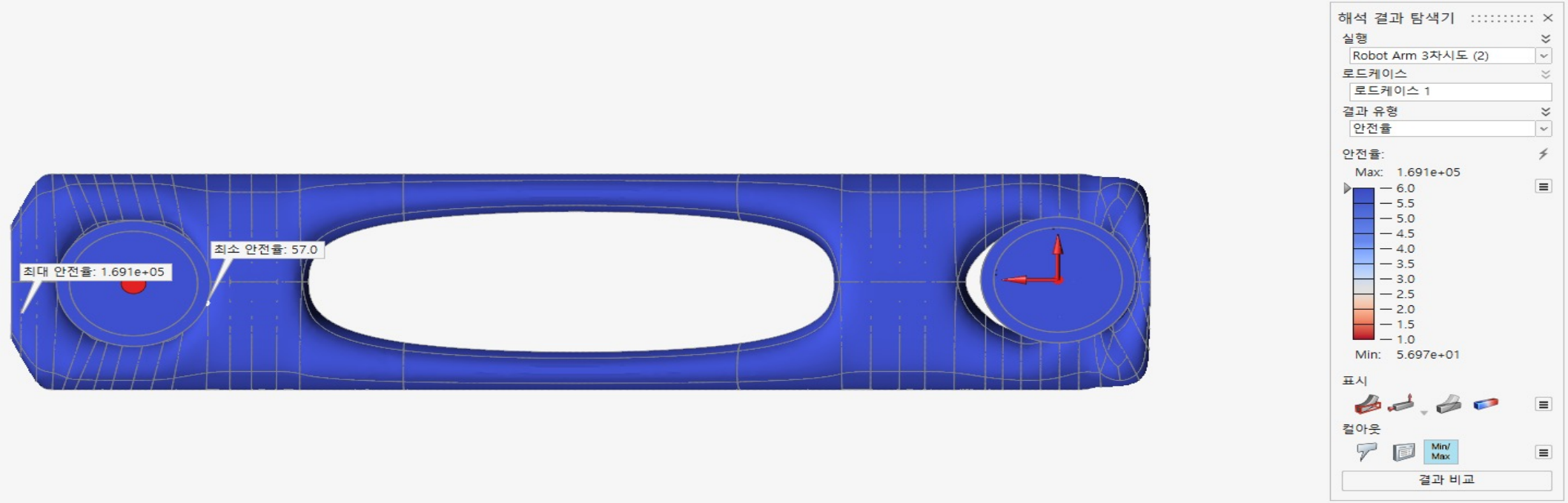
3. 최적화 설계



Arm1 최적화

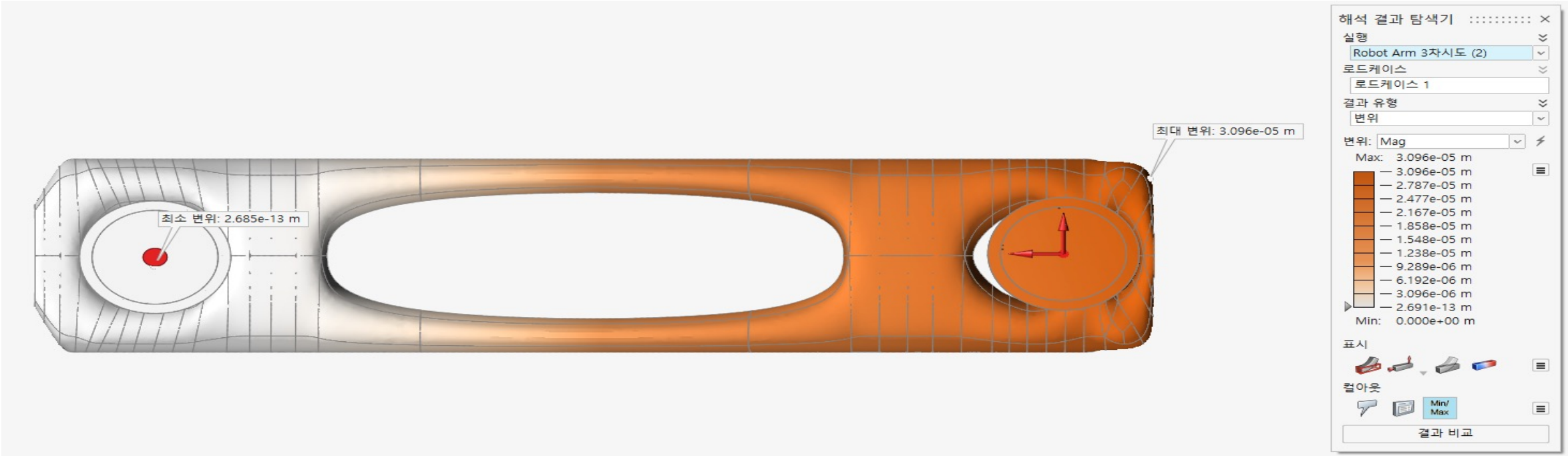
Arm1과 회전하는 Base 연결 부분을 경계조건으로 고정하고, Arm2와 1사이의 회전하는 부분에 등가하중을 부여하고, 중력을 고려한다.

3. 최적화 설계



최소 안전율이 57이므로 최종 형상 역시 안전하다.

3. 최적화 설계



허용 설계 기준: 전체 길이의 360분의1의 변형까지 허용

최대 변위: 3.096 x 10^{-5}m

Arm1 길이: 0.36m

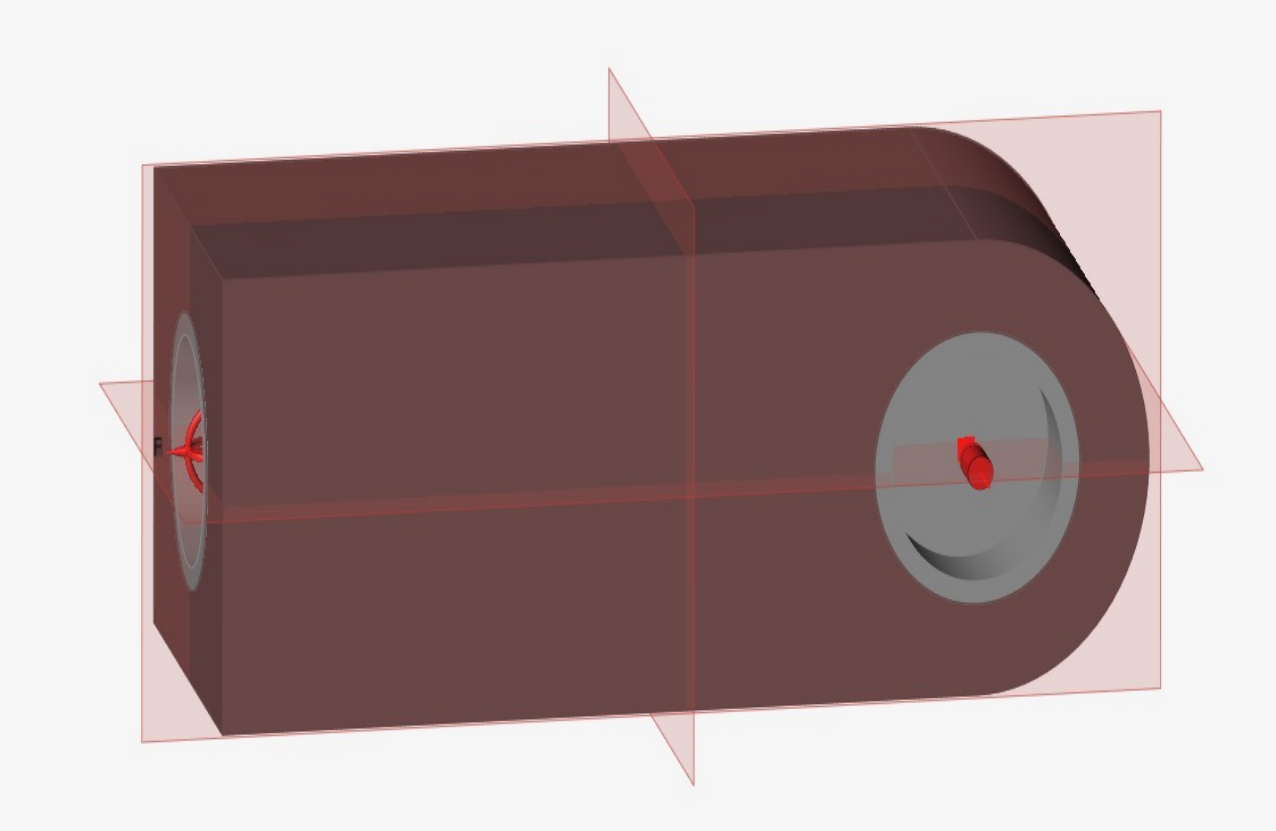
360 x 3.096 x $10^{-5}m$≤ 0.36m이므로 안전하다.

3. 최적화 설계

진행 순서

Arm1 → **Arm2** → Arm3

3. 최적화 설계

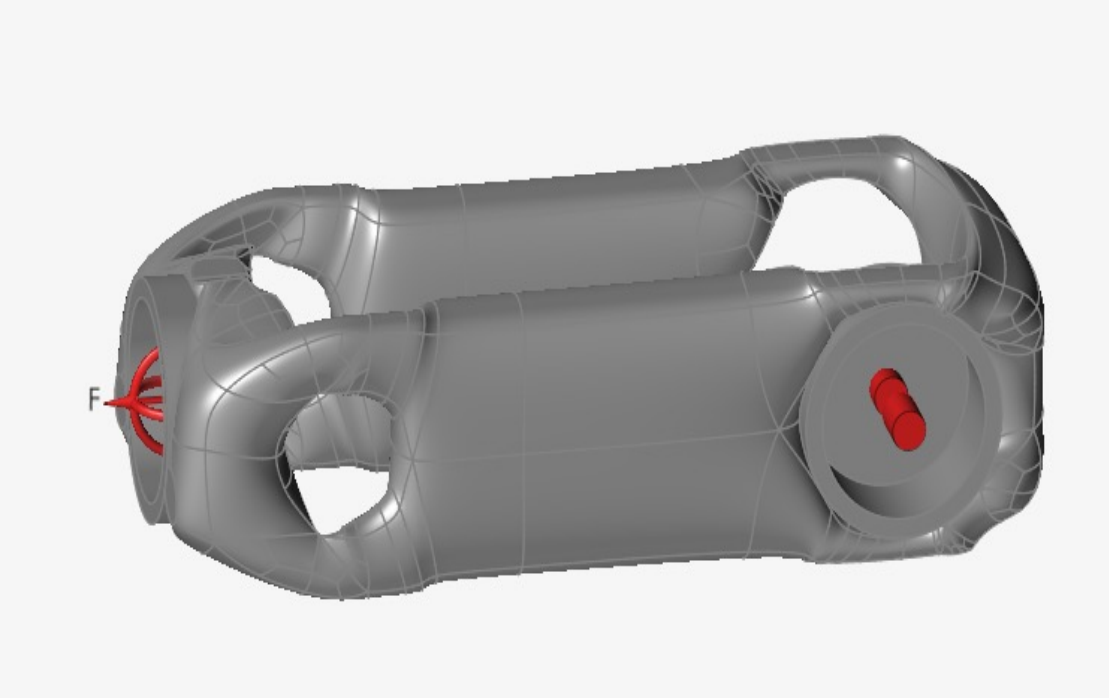


Arm2 디자인 영역

한 쪽에 질량이 몰리거나 끊기는 현상을
방지하기 위해서 완전 대칭 형상이 되도록 설계한다.

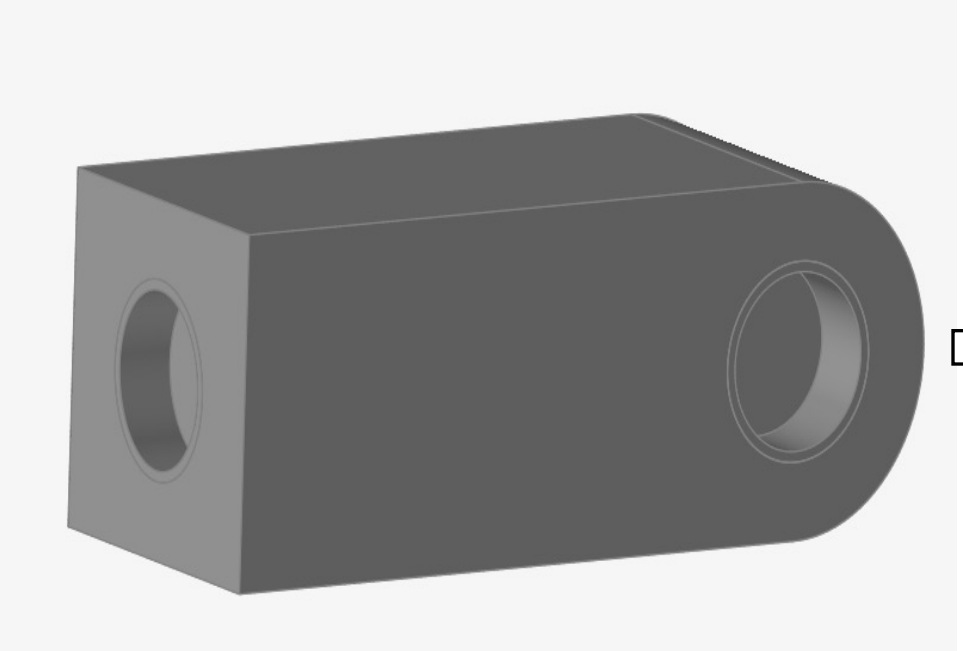
3. 최적화 설계

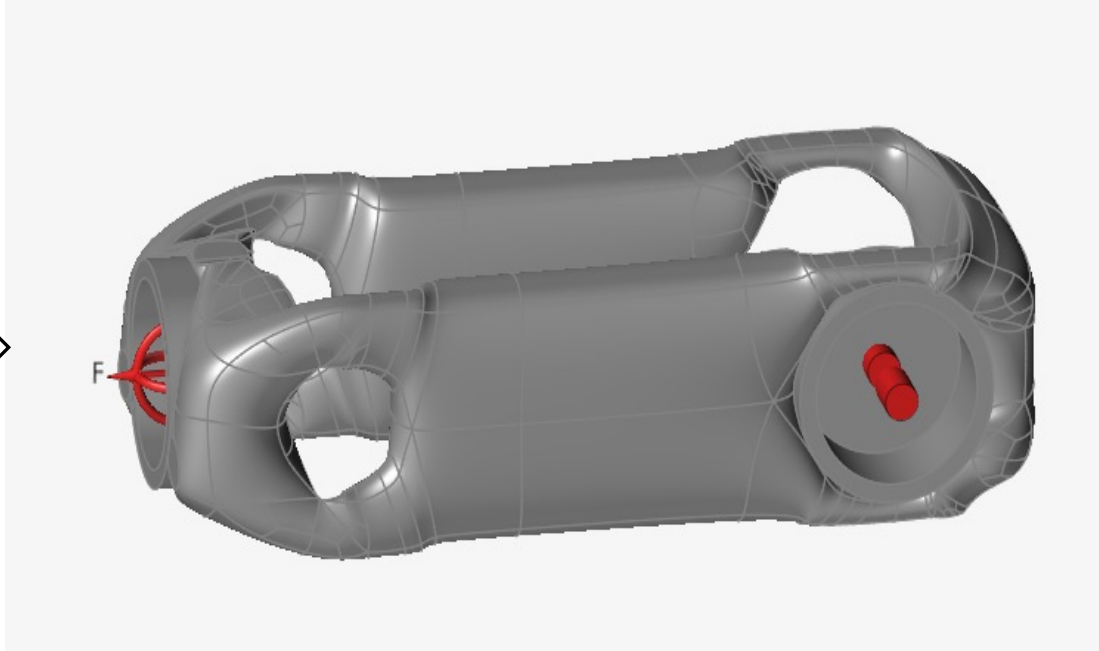
강성 30% 최적화



강성 30% 최적화 Polynurbs 적용
면을 매끄럽게 만들고 불필요한 형상 제거

3. 최적화 설계



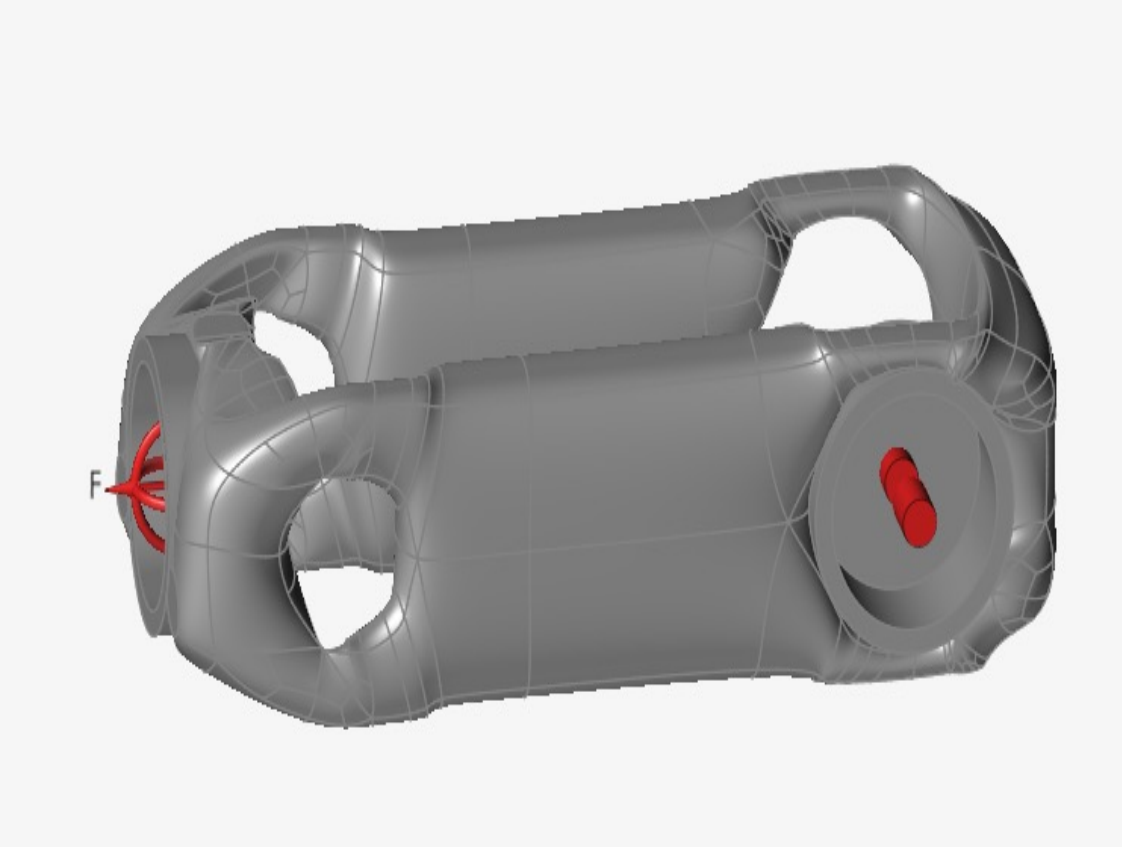


최적화 전 Arm2 질량: 7.462kg

질량 변화율: -71.63%

최적화 후 Arm2 질량: 2.117kg

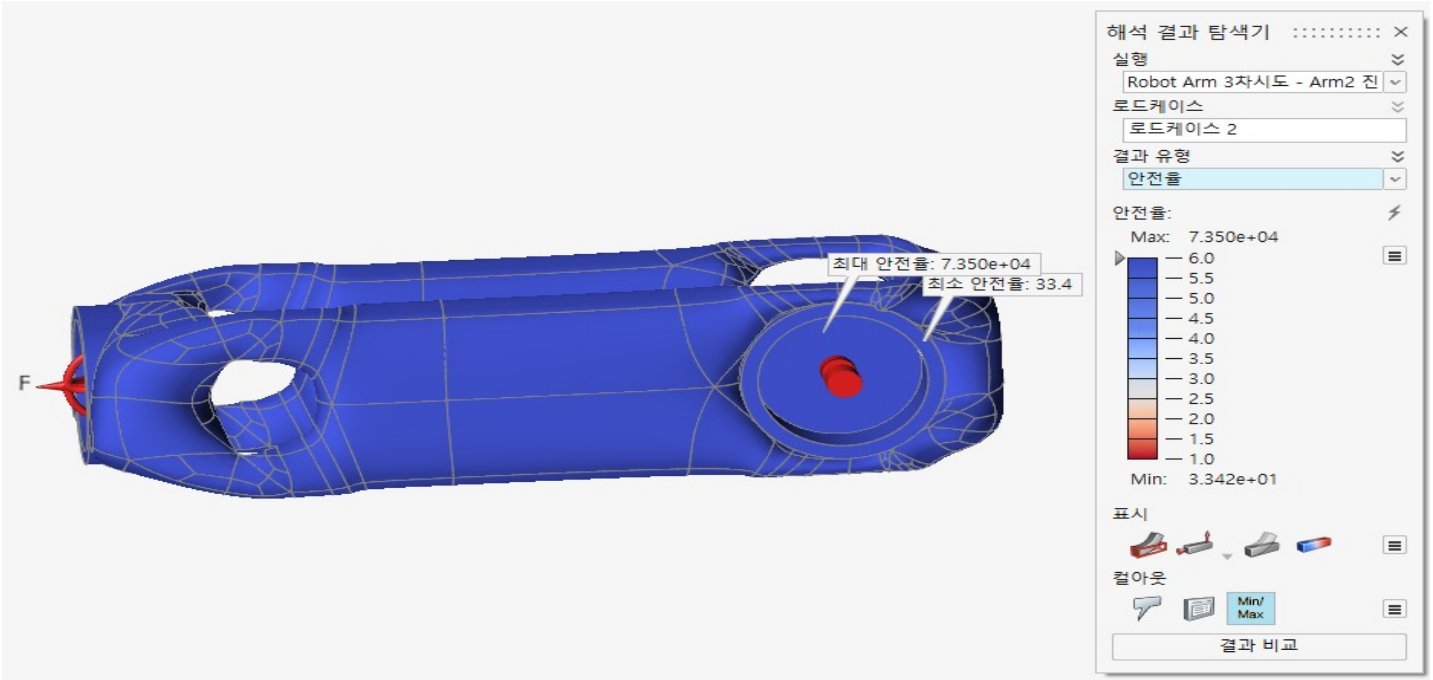
3. 최적화 설계



Arm2 최적화

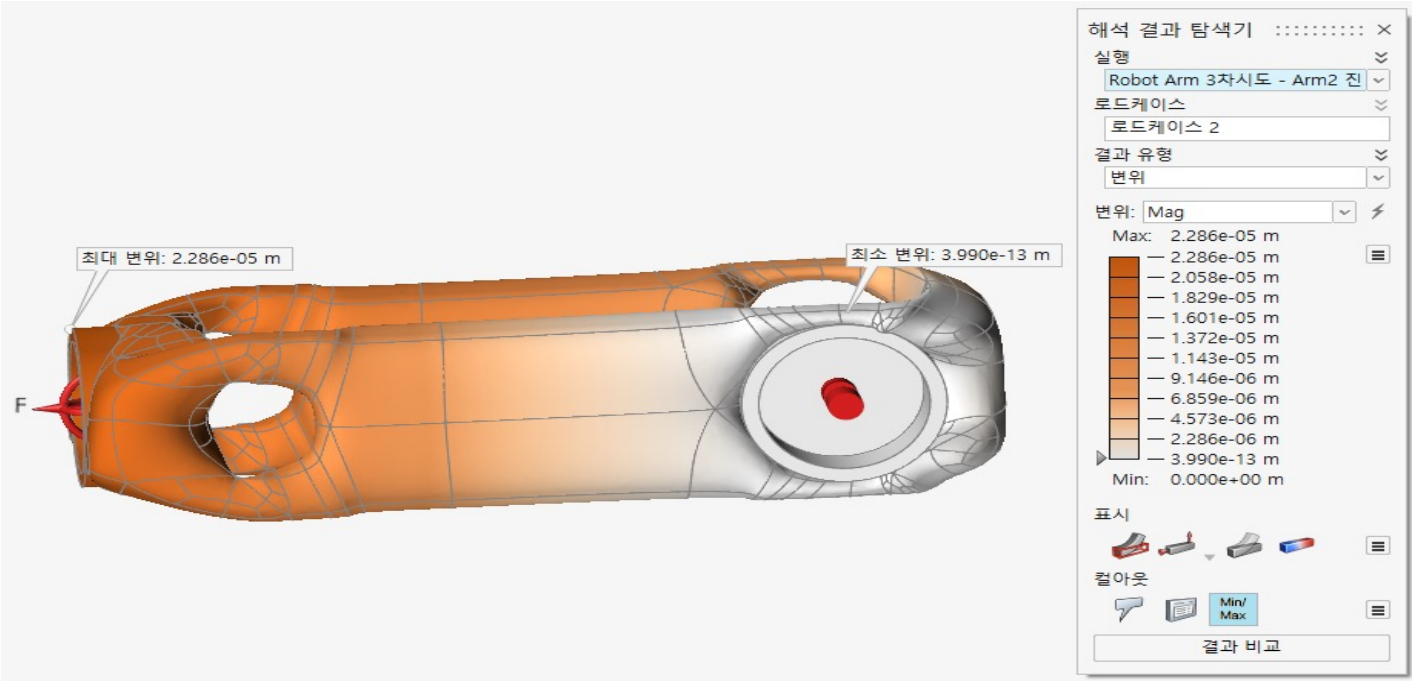
Arm2와 Arm1 사이 부분을 경계조건으로 고정하고, Arm2와 Arm3사이의 회전하는 부분에 등가하중 및 모멘트를 부여하고, 중력을 고려한다.

3. 최적화 설계



최소 안전율이 33.4이므로 최종 형상 역시 안전하다.

3. 최적화 설계



허용 설계 기준: 전체 길이의 360분의1의 변형까지 허용

최대 변위: 2.286 x 10^{-5}m

Arm2 길이: 0.22m

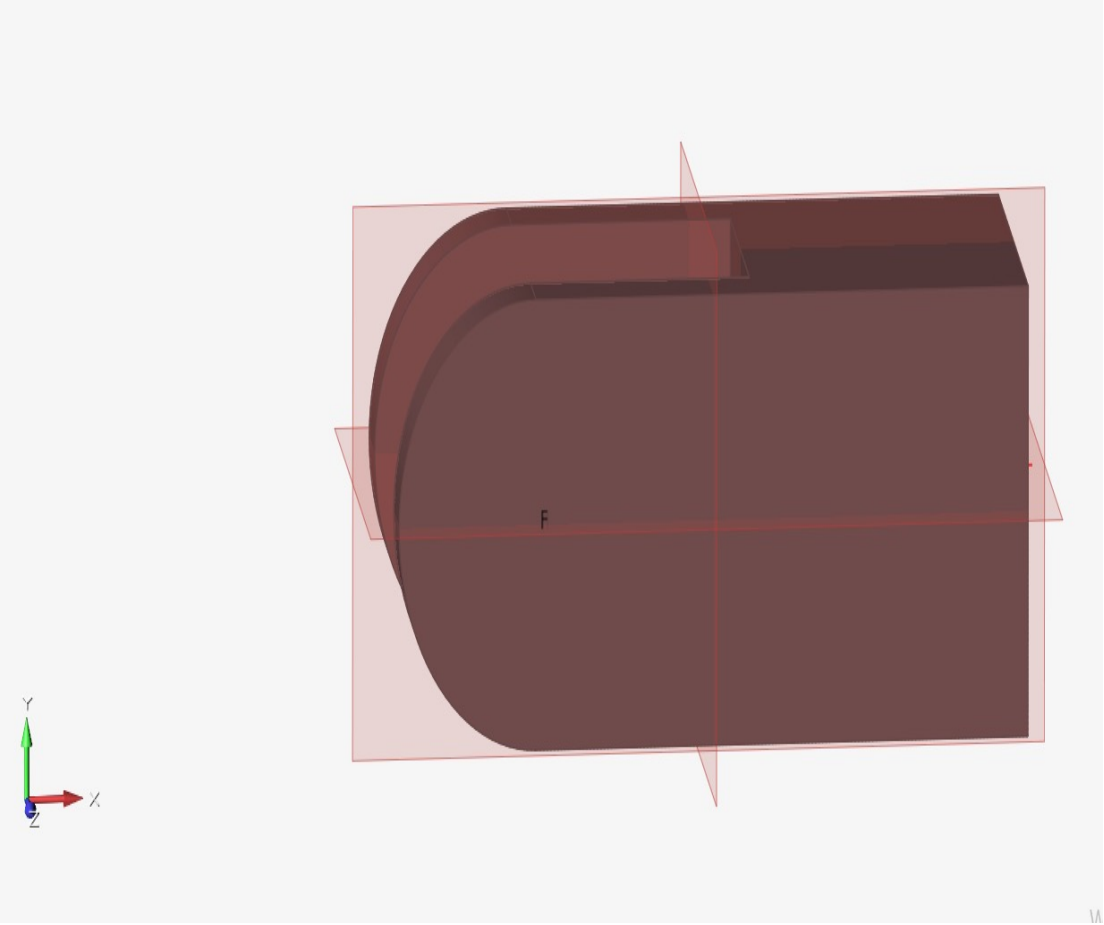
360 x 2.286 x $10^{-5}m \leq$ 0.22m이므로 안전하다.

3. 최적화 설계

진행 순서

Arm1 → Arm2 → **Arm3**

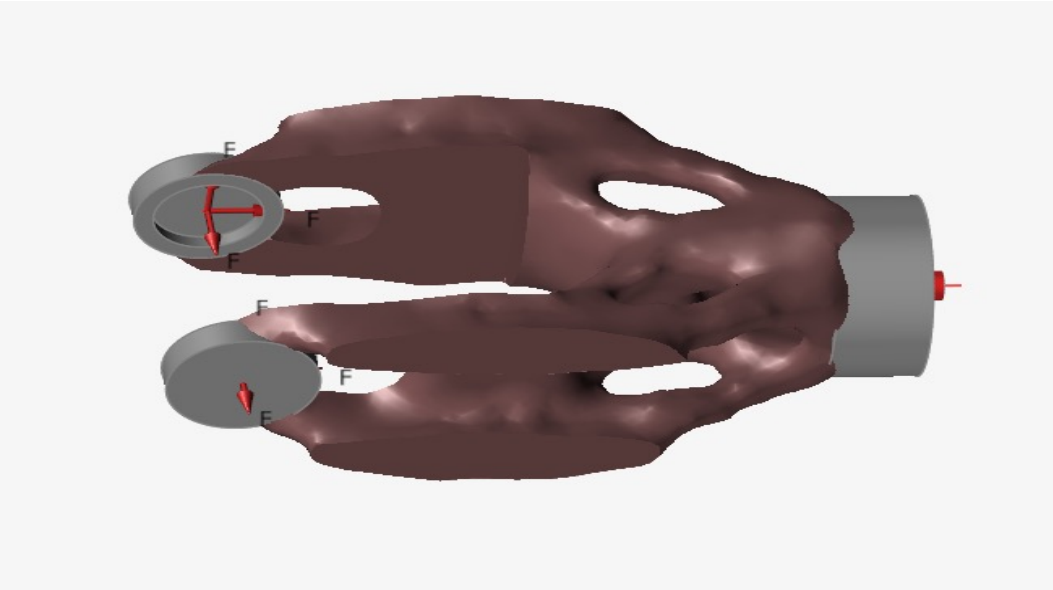
3. 최적화 설계



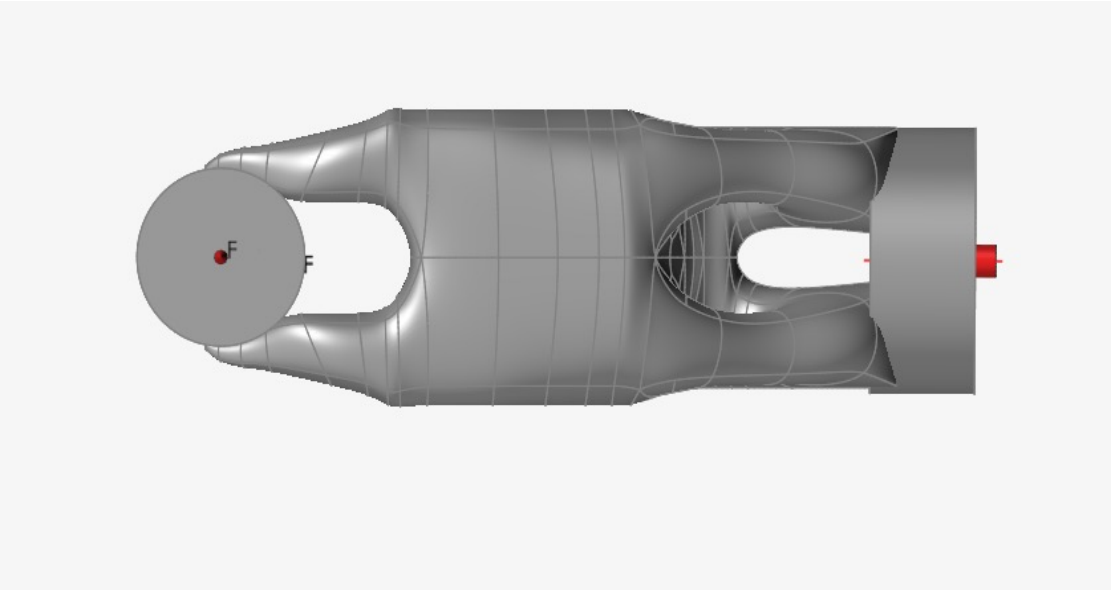
Arm3 디자인 영역

한 쪽에 질량이 몰리거나 끊기는 현상을 방지하기 위해서 완전 대칭 형상이 되도록 설계한다.

3. 최적화 설계

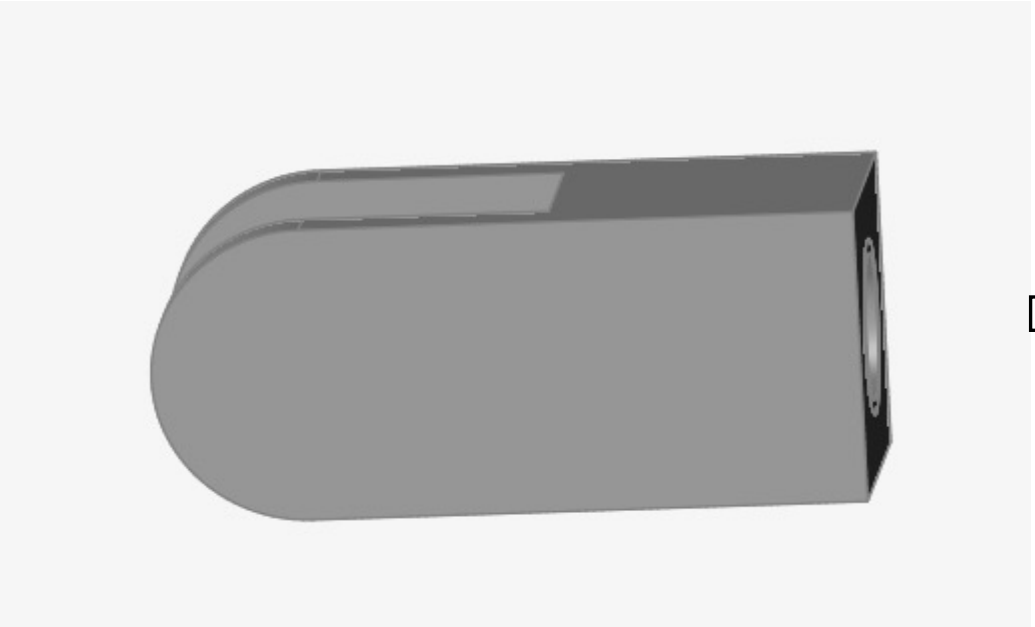


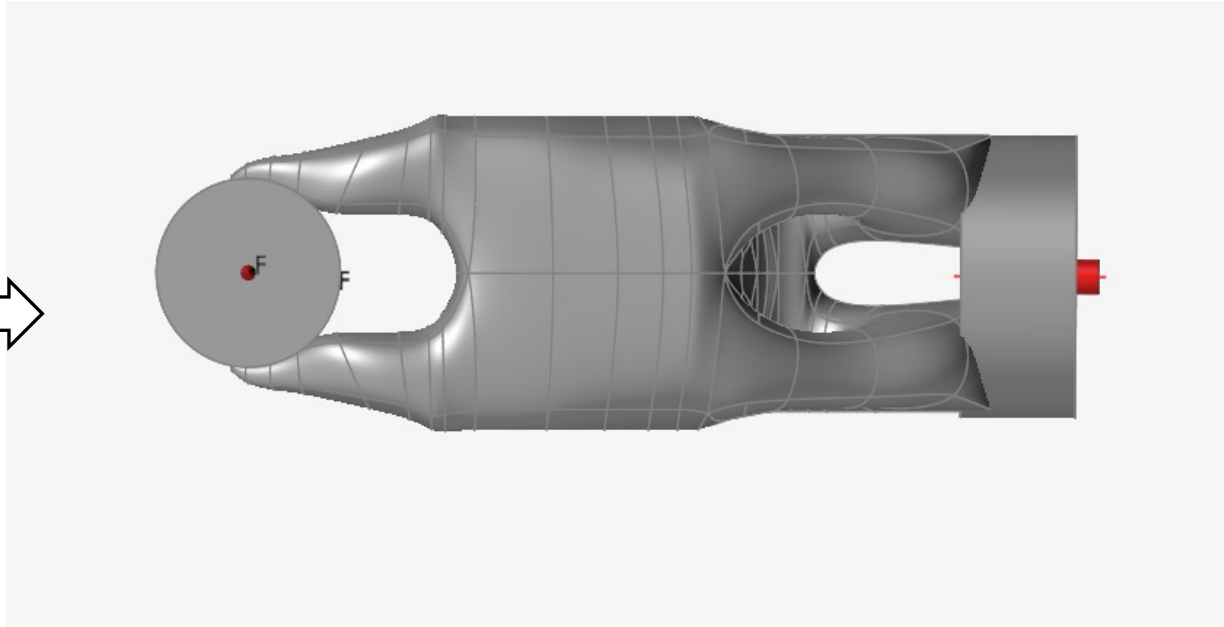
강성 20% 최적화



강성 20% 최적화 Polynurbs 적용
면을 매끄럽게 만들고 불필요한 형상 제거

3. 최적화 설계

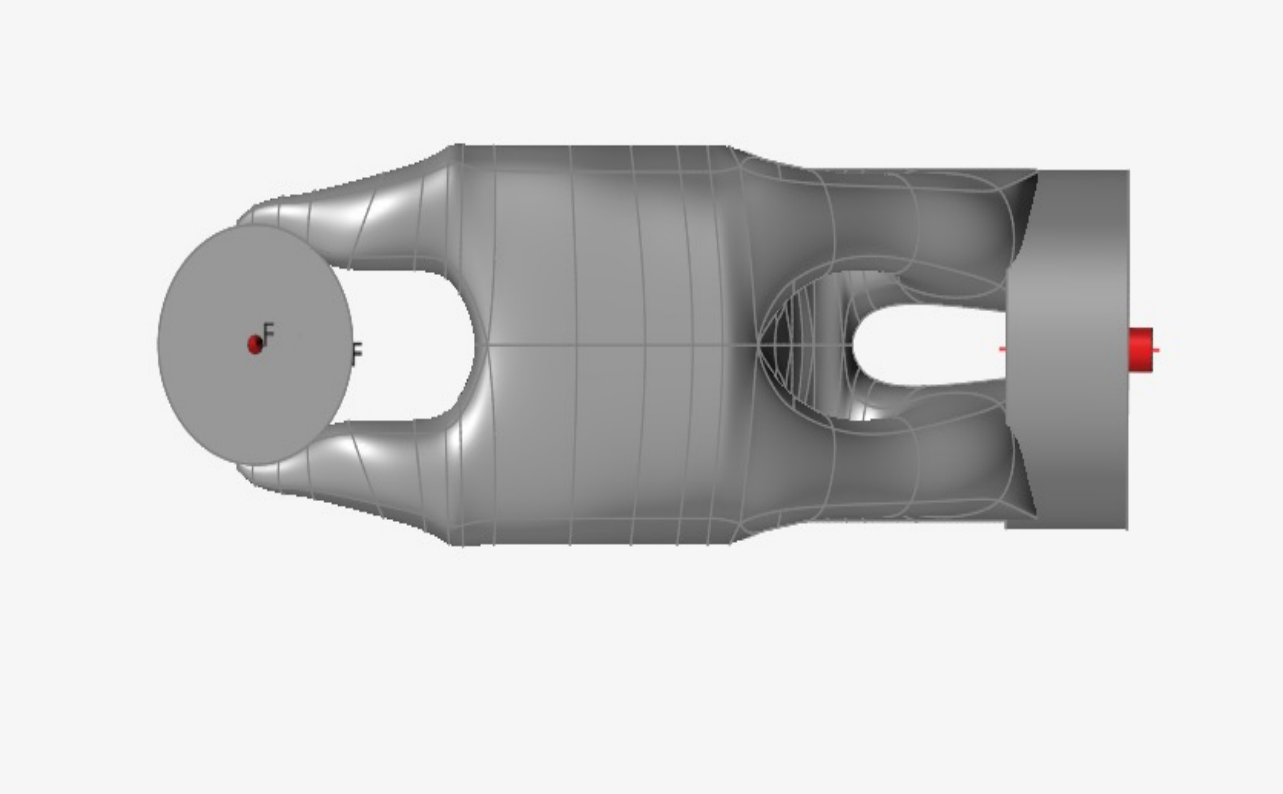




최적화 전 Arm3 질량: 4.152kg → 최적화 후 Arm2 질량: 1.139kg

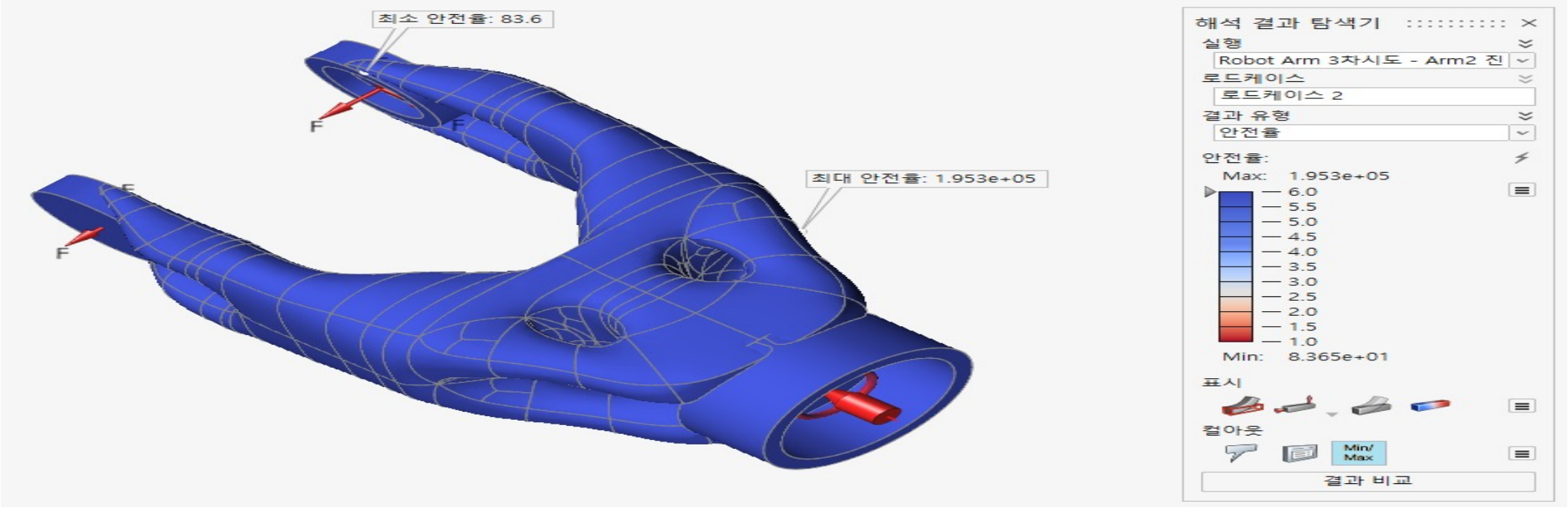
질량 변화율: -72.57%

3. 최적화 설계



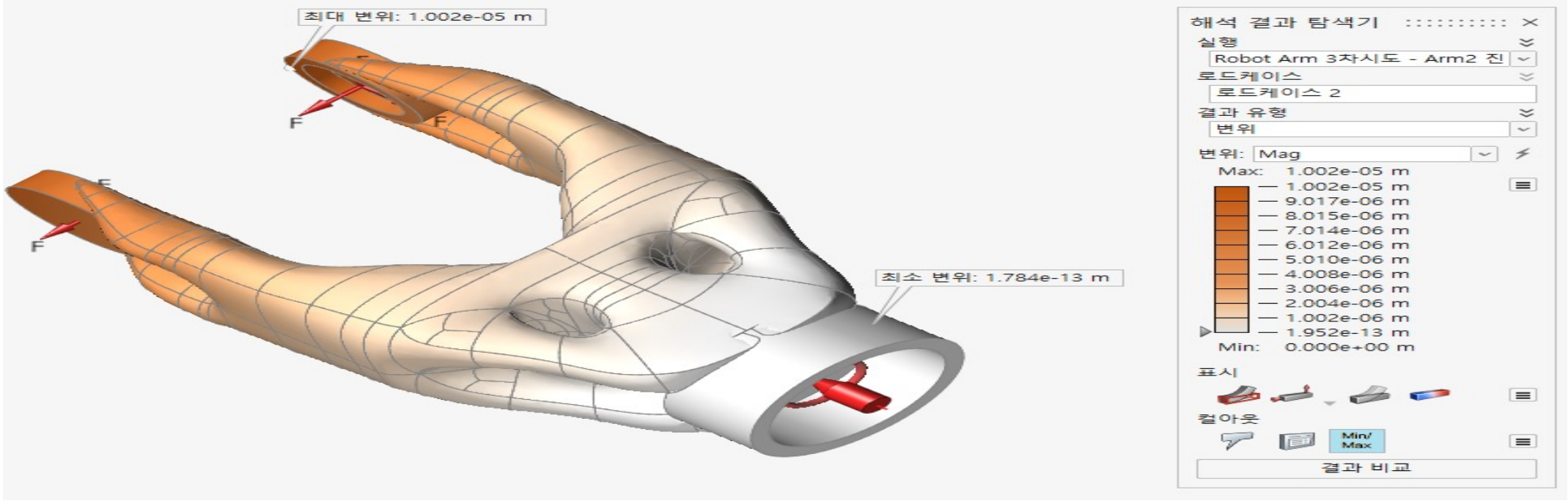
Arm2와 Arm3 사이 부분을 경계조건으로 고정하고, Arm3와 Load사이의 회전하는 부분에 등가하중 및 모멘트를 부여하고, 중력을 고려한다.

3. 최적화 설계



최소 안전율이 83.6이므로 최종 형상 역시 안전하다.

3. 최적화 설계



허용 설계 기준: 전체 길이의 360분의1의 변형까지 허용

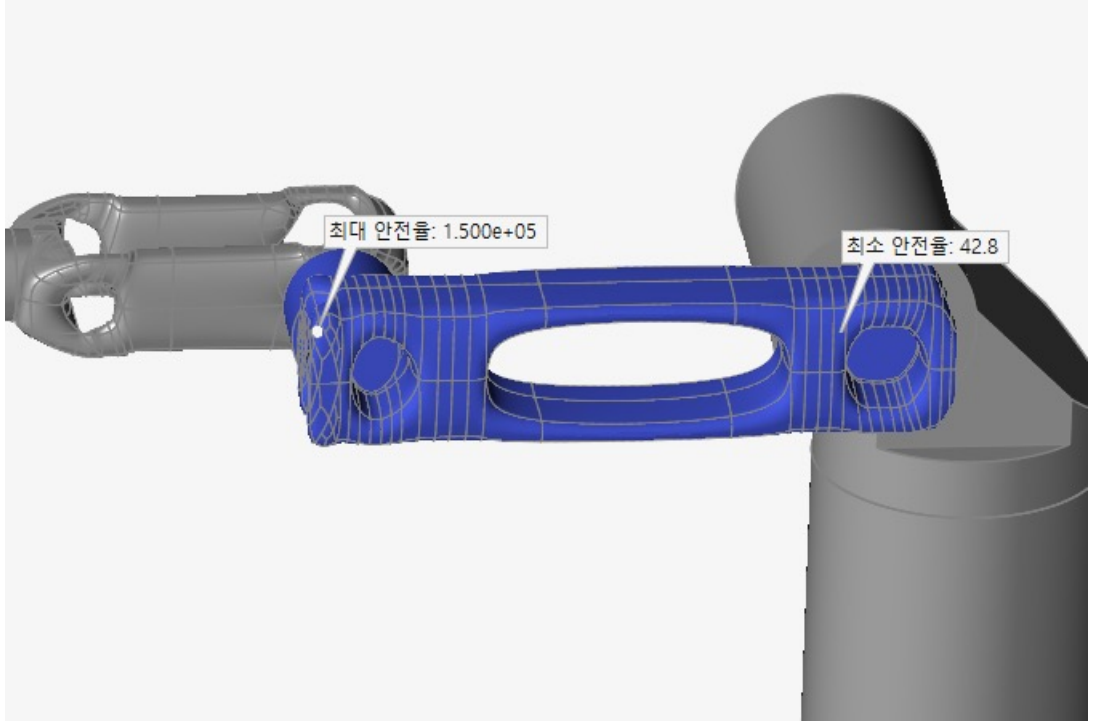
최대 변위: 1.002 x 10^{-5}m

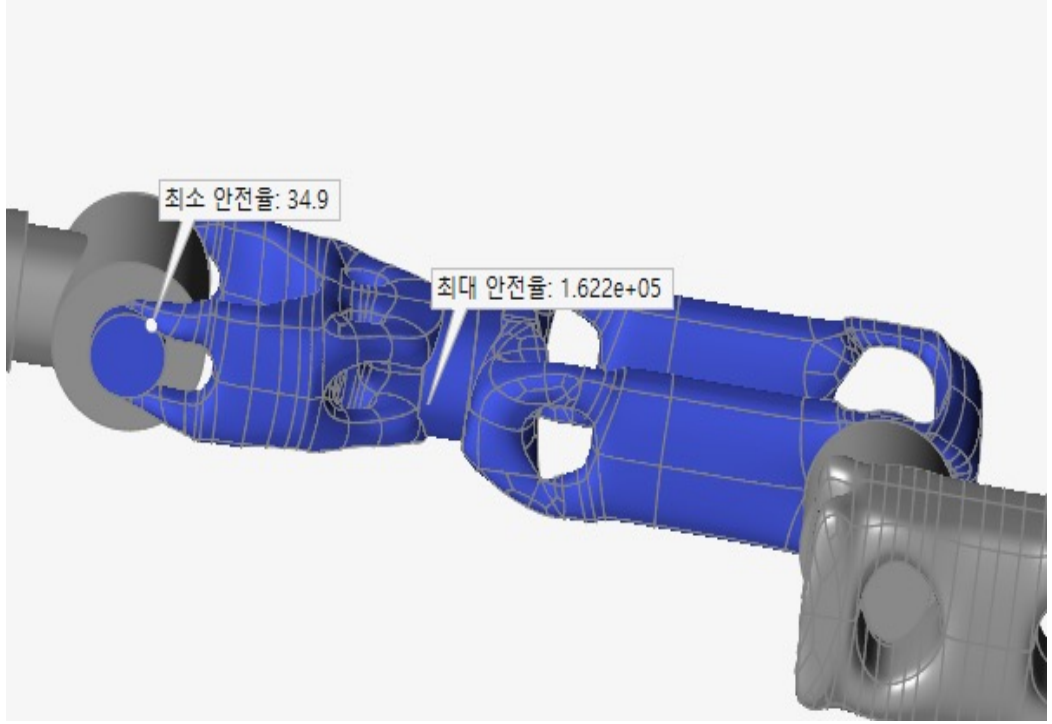
Arm2 길이: 0.18m

360 x 1.002 x $10^{-5}m$≤ 0.18m이므로 안전하다.

3. 최적화 설계

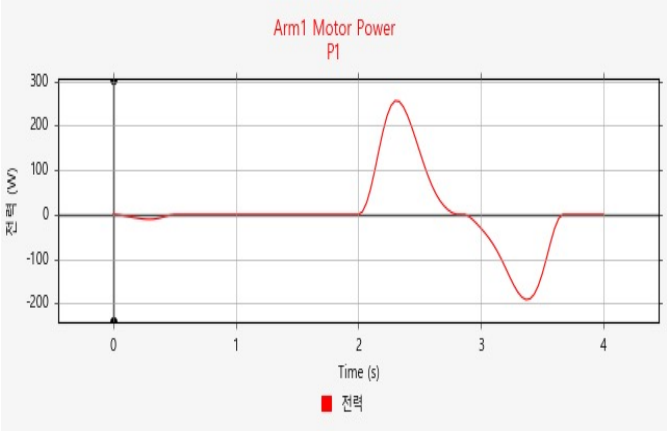
변경된 형상의 실제 안전 여부를 검토하기 위해 동적해석 진행

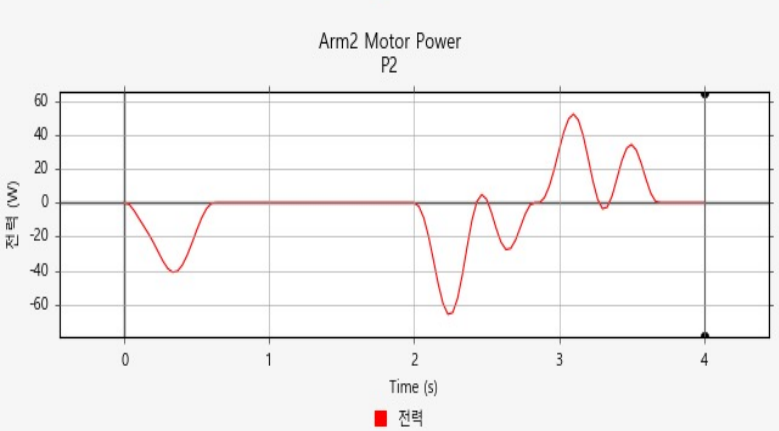


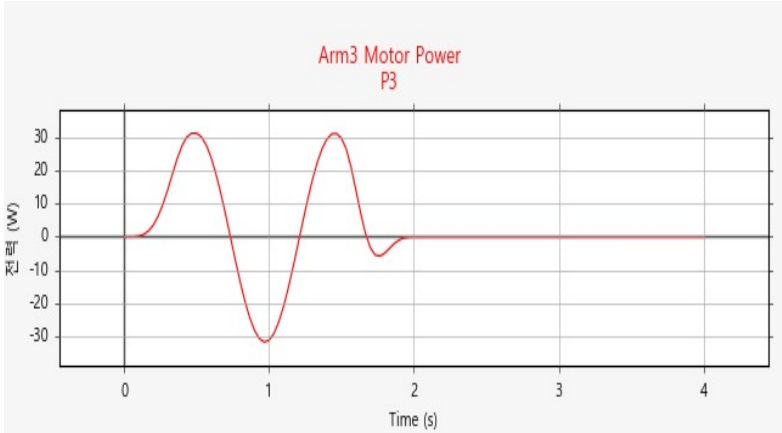


최소 안전율 34.9로 동적해석 하에서도 안전하다.

3. 최적화 설계







$P_{1Max} = 256.3\mathrm{W}$
$|P_{1avg}| = 42.57W$

$P_{2Max} = -65.77\mathrm{W}$
$|P_{2avg}| = 12.22W$

$P_{3Max} = -31.94\mathrm{W}$
$|P_{3avg}| = 7.507W$

P_{1Max}: -63.29% (감소)
$|P_{1avg}|$: -62.63% (감소)

P_{2Max}: -43.42% (감소)
$|P_{2avg}|$: -48.04% (감소)

P_{3Max}: -0.5949% (감소)
$|P_{3avg}|$: 3.730% (증가)

P_{3avg}가 조금 증가했지만, 아주 미세한 양이고 전체적으로 동력이 감소했기 때문에 개선됐다고 볼 수 있다.

4. 결론

4. 결론

4-1. 질량비교

	최적화 전 질량 (kg)	최적화 후 질량 (kg)	변화율(%)
Arm1	10.104	4.692	-53.56
Arm2	7.462	2.117	-71.63
Arm3	4.152	1.139	-72.57

4. 결론

4-2. 동력 비교

	최적화 전 동력 Max(W)	최적화 전 동력 Avg(W)	최적화 후 동력 Max(W)	최적화 후 동력 Avg(W)	Max 변화율(%)	Avg변화율(%)
Arm1	418.5	69.23	256.3	42.57	-63.29	-62.63
Arm2	-94.33	18.09	-65.77	12.22	-43.42	-48.04
Arm3	-32.13	7.227	-31.94	7.507	-0.5949	3.73

전체적으로 질량을 감소시켜서, 구동의 질을 개선시키는데 성공하였다.

출처

https://moneys.mt.co.kr/news/mwView.php?no=2021072113598072305

http://www.newstomato.com/ReadNews.aspx?no=1061005&inflow=N

https://www.sedaily.com/NewsView/22OUG244E8,

https://zdnet.co.kr/view/?no=20210713171222

https://news.naver.com/main/read.nhn?oid=421&aid=0001778678

https://blog.naver.com/musicalmman/222120893599

참고문헌

Mechanics of materials

Mechanics for Engineers: Dynamics Thirteenth Edition

형상 출처: http://www.hwia.co.kr/item.php?it_id=1512020151

가동시간 설계: A study on design, experiment control of the waterproof robot arm

해석 경계조건 및 하중 부여조건 : Design and Control of the Master Arm for Control of Industrial Robot Arm

감사합니다