

Kinematics Term Project

Geared spherical wrist mechanism Analysis

과 목	기구학(001분반)
담당 교수	박 영 진
제출 일자	2026.06.14
전공	기계공학부
학번	비공개
이름	진호경, 김한나, 박성환, 박효빈

- 목 차 -

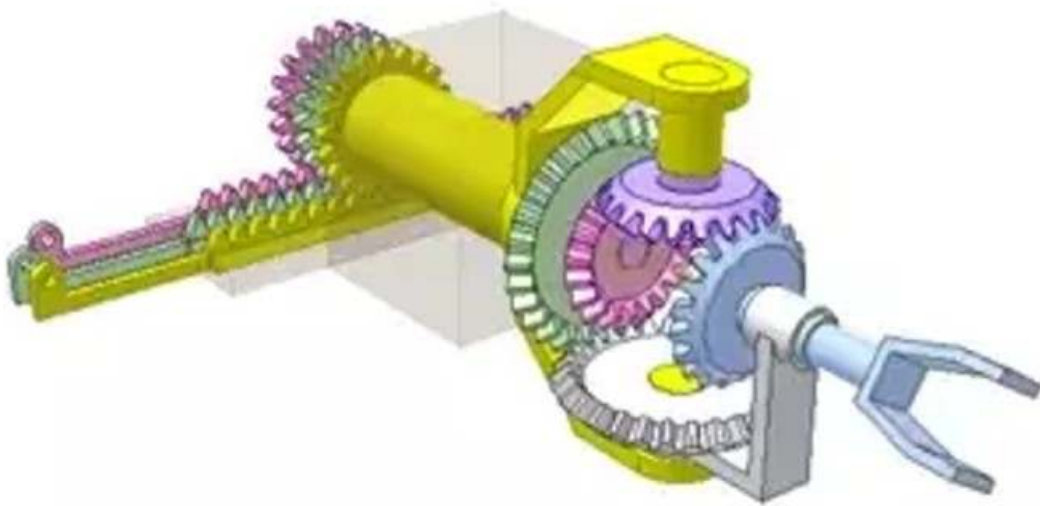
I. 서론	
1. 메커니즘 선정	
1.1. 대상 메커니즘 소개	
1.2. 대상 메커니즘 선정 배경	
2. 메커니즘 구조 및 기능 정의	
2.1. 메커니즘 핵심 기능 및 목적	
2.2. 기구의 구동 방식	
II. 본론	
3. Matlab Simscape Multibody 모델링 구현	
3.1. 모델링 핵심 및 조인트 설정	
4. 메커니즘의 기구학적 분석	
4.1. 자유도 및 공간 기구 구조 해석	
4.2. 속도비 기구학 해석	
III. 결론	
5. 결론 및 고찰	
5.1. 메커니즘 장단점 및 설계 시 고려사항	
5.2. 프로젝트를 통한 소감	

I. 서론

1. 메커니즘 선정

1.1 대상 메커니즘 소개

현대 로봇 공학에서 매니퓰레이터가 다양한 임무를 수행하려면 3차원 공간에서 유연하게 움직일 수 있는 손목관절이 필수적이어야 한다. 이러한 로봇 손목의 다자유도(Multi-DOF) 구동을 구현하는 기초적인 방식을 파악하고자 ‘기어 구동식 구형 손목 메커니즘(Geared spherical wrist mechanism)’을 선정하게 되었다.



<그림1. 기어 구동식 구형 손목 메커니즘>

기어 구동식 구형 손목 메커니즘이란 사람의 손목처럼 여러 방향으로 구면 회전이 가능하도록 기어를 이용한 메커니즘이다. 그림1.과 같이 3개의 랙앤피니언을 통해서 중앙의 베벨기어 구동부를 통해 End Effector의 좌표계를 이동 및 회전시키는, 사람의 손목과 유사한 기능을 구현할 수 있다.

1.2 대상 메커니즘 선정 배경

단순한 단일 모터 구동을 넘어 다중 직선 운동이 어떻게 유기적으로 맞물려 3차원 구면 운동을 만들어내는지 확인하는 것이 주된 목적으로 직선 운동의 다중 입력 값이 복합적으로 작용하여 Robot 손목의 구면 운동 생성 과정을 Matlab Simscape Multibody를 이용하여 동력이 전달되고 변환되는 일련의 메커니즘을 가상 환경에서 모델링하고 End Effector의 손목 구동 원리를 시각적·역학적으로 분석하고자 하여 본 1조는 이를 팀프로젝트 주제로 선정하였다.

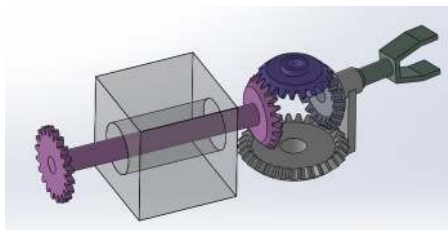
2. 메커니즘 구조 및 기능 정의

2.1 메커니즘 핵심 기능 및 목적

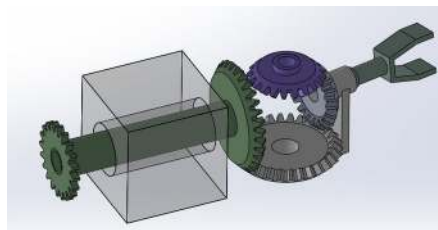
본 메커니즘의 핵심 기능은 3개의 직선 운동(랙)을 통해 복합적으로 연결된 베벨기어 구동부를 이용하여 End Effector의 3차원 회전 운동을 출력하는 것이다. 3차원 공간상에서 End Effector의 회전, 손목 좌우 회전, 손목 비틀림 회전의 조합으로 Roll, Pitch, Yaw 제어를 수행할 수 있고 이를 통해 손목 구동부의 구면 운동을 구현할 수 있다는 것이 선정한 메커니즘의 핵심 기능이며 이 메커니즘은 3차원 공간 내에서 사용자가 원하는 방향으로 End Effector를 정확하게 위치 및 정렬하는 것을 목표로 두고 있다. 따라서 본 1조는 Roll, Pitch, Yaw 제어를 수행하여 손목 구동부 구면 운동을 구현함과 동시에 특정 운동에 대한 기구학적 분석을 중점으로 프로젝트를 진행하였다.

2.2 기구의 구동 방식

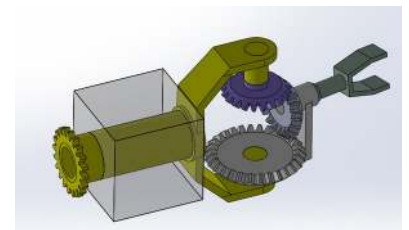
해당 메커니즘은 3개의 독립된 3개의 랙(직선 운동)을 구동원으로 사용함으로써 입력된 동력은 동축 샤프트 구조와 중앙 베벨기어부를 거치며 End Effector 방향이 결정된다. 특히 내측, 중간, 외측에 위치한 3개의 축이 독립적으로 회전하며 중앙 베벨 기어 동력부로 동력을 전달하는 것이 입력부의 주요 특징이라고 할 수 있다.



1번 피니언



2번 피니언



3번 피니언

<그림2. 랙앤피니언과 베벨기어 구동부의 연결>

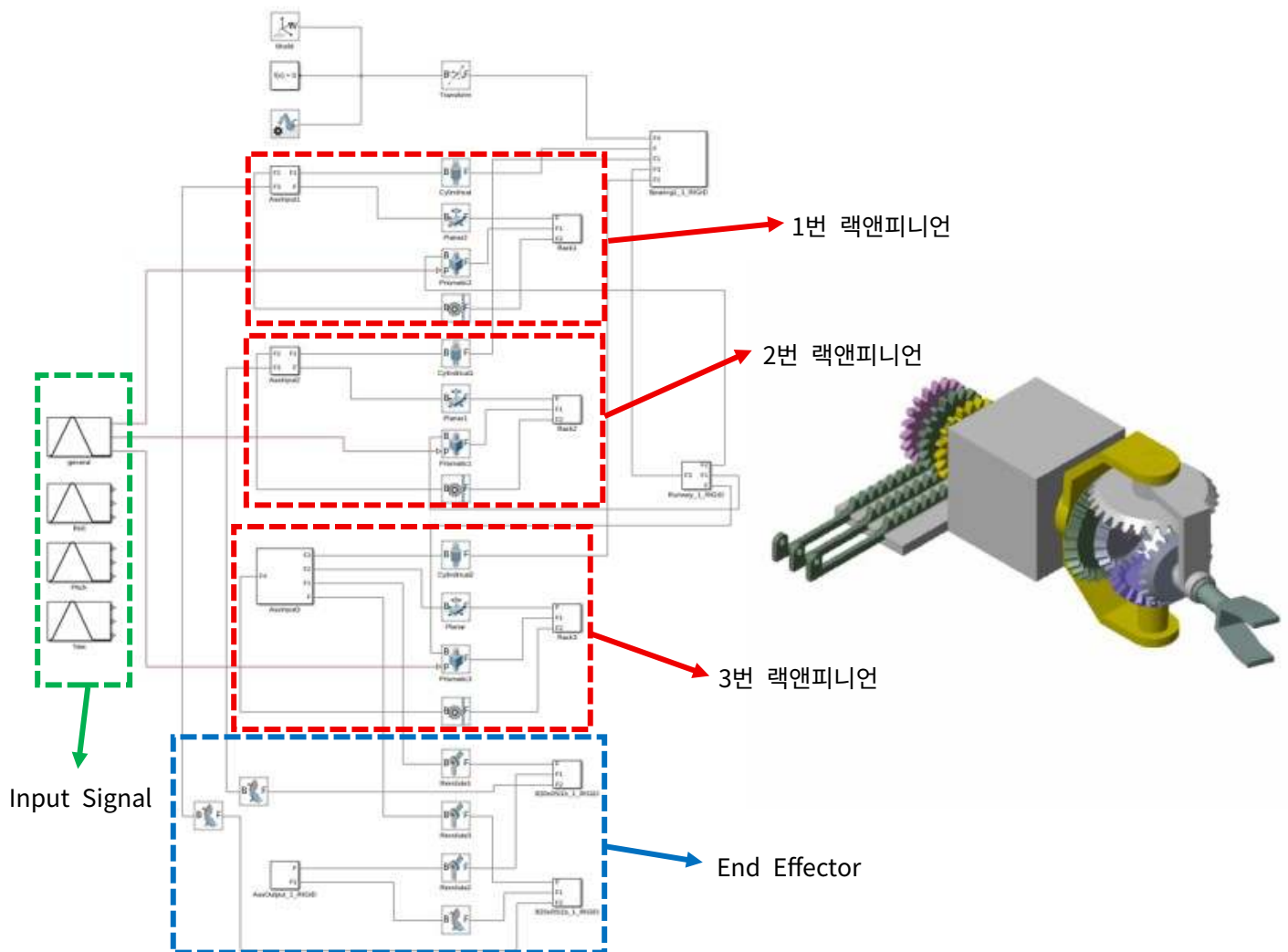
각 랙의 입력이 그림2와 같이 1~3번의 피니언의 회전으로 변경되고 각 피니언과 동일한 회전축을 공유하는 베벨기어 및 하우징에 움직임이 생겨서 End Effector의 특정 운동을 생성한다. 각 피니언의 회전에 대해서 설명하자면 1번 피니언 회전이 보라색 베벨기어 회전으로 동력을 90도 회전시키고 이에 따라 End Effector의 베벨기어를 회전시키며 동력을 90도로 다시 회전시킨다. 2번 피니언 회전이 회색 베벨기어 회전으로 동력을 90도 회전시키며 End Effector의 위치를 회색 베벨기어 회전축을 중심으로 원호 궤적으로 이동시킨다. 3번 피니언 회전이 외부 하우징 회전으로 보라색 베벨기어와 회색 베벨기어를 3번 피니언 회전축을 기준으로 원호 궤적으로 이동시켜서 1번과 2번 피니언 회전에 의한 동력 방향을 변경하는 효과를 낸다. 이러한 과정 중 베벨기어부는 유성기어 구조의 태양 기어와 행성 기어 간의 상대 운동 원리로 바탕으로 작동한다. 즉 3개 축의 입력 속도 및 회전 방향의 차이에 따라 동력이 중앙에서 유기적으로 합산

또는 분해되는 차동메커니즘을 형성하여 출력 방향과 속도를 제어한다. 최종적으로 고정된 가상 중심점을 기준으로 구면 운동을 출력하며 3차원 공간에서의 Roll, Pitch, Yaw 제어를 수행할 수 있다.

II. 본론

3. Matlab Simscape Multibody 모델링 구현

3.1 모델링 핵심 및 조인트 설정



<그림3. Matlab Simscape Multibody & Simulation>

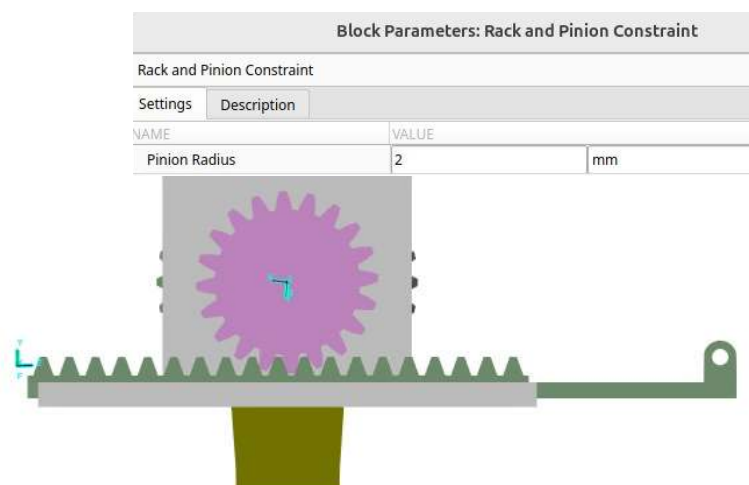
그림3.은 기어 구동식 구형 손목 메커니즘에 대해서 Matlab Simscape Multibody를 이용하여 블록 다이어그램 으로 나타내고 이를 실행하였을 때 나온 결과물 사진이다. 그림3에서 확인할 수 있듯이 위에서부터 순서대로 빨간색 영역은

각각 랙앤피니언 파트가 구속되어있는 모습을 나타내고 하단의 파란색 영역은 베벨기어 부와 End Effector의 구속을 나타내고 있으며 좌측의 초록색 영역은 각 랙앤피니언의 랙에 mm단위로 위치를 이동하라는 입력 신호를 나타낸다. 위 그림3.처럼 Matlab Simscape Multibody로 선정한 메커니즘을 구현하기 위해서 먼저 Solidworks 이용하여 기구부를 설계하였다. 설계과정에서 임의로 아래의 표와 같이 설계하였다.

기어 종류	모듈	피치원 반지름(mm)	기어잇수
랙앤피니언	0.2	2	20
베벨기어(small)	0.2	2	20
베벨기어(big)	0.2	3	20

<표1. 메커니즘 설계 치수>

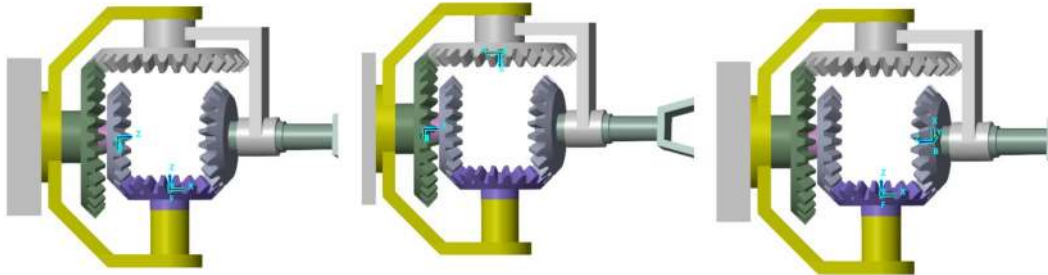
표1.의 치수로 설계한 상태에서 각각의 랙과 피니언, 베벨기어끼리의 구속을 올바르게 설정해줘야 solver가 올바르게 시뮬레이션을 구현해주기 때문에 Matlab에서 제공하는 기어 구속 블록의 구속 조건에 대응하도록 랙앤피니언 구속, 베벨기어 구속을 설정하였다.



<그림4. 랙앤피니언 구속>

1~3번 랙앤피니언에 대해서 랙앤피니언 구속 설정은 유사하므로 1번 랙앤피니언 구속에 대해서만 설명하려고 한다. 그림4.를 보면 확인할 수 있듯이 랙과 피니언의 좌표계가 동일한 평면상에 존재하도록 설정하여 랙의 z축은 이동방향을 향하고 피니언의 z축은 회전중심을 향하도록 설정하였고 랙의 x축과 피니언의 z축이 평행하도록 설정했다. 뿐만 아니라 피니언의 반지름 설정을 피치원 반지름 2mm로 설정하여 올바르게 랙앤피니언 구속을 마쳤다. 만약 피니언 반지름

설정을 피치원 기준이 아닌 이끝원 반지름 또는 이뿌리원 반지름으로 설정하면 시뮬레이션상에서 피니언과 랙이 맞물리는 방향으로 회전하지만 피니언 회전속도와 랙의 선속도가 일치하지 않아 기어이빨이 서로 겹쳐지는 순간이 생긴다.

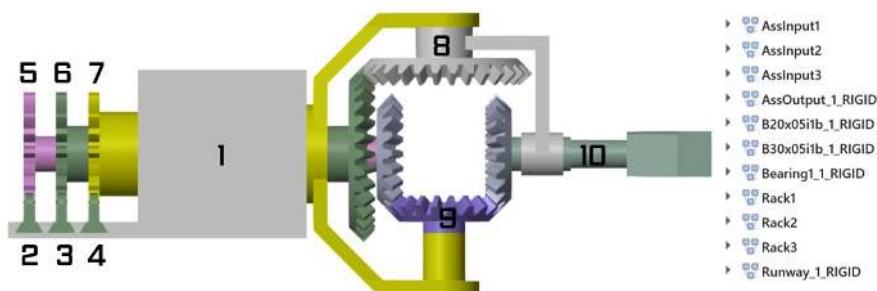


<그림5. 베벨기어 구속>

현재 메커니즘에 대해서 베벨기어의 경우 3개의 베벨기어 구속이 필요한 상황이다. 베벨기어는 예외적인 경우도 존재하긴 하지만 일반적으로 맞물리는 기어의 회전축이 서로 90도로 교차하는 특징이 있다. 그림5의 3개의 베벨기어 구속에 대해서 좌표계 설정은 동일하고 기어 반지름 설정만 다르게 설정된다. 베벨기어의 z축은 회전중심을 향하고 각 베벨기어끼리 z축이 교차하도록 설정하였으며 앞서 표1.에 나와있는 설계 치수대로 기어 반지름을 설정하여 올바르게 구속을 마쳤다. 이때 베벨기어의 좌표계는 베벨기어의 회전축이 교차하는 지점을 기준으로 피치원 반지름 만큼 떨어져 있는 기어와 평행한 평면에 위치해야하며 그렇지 않을 경우 좌표계 오류로 기어 구속이 올바르게 설정되지 않는다.

4. 메커니즘의 기구학적 분석

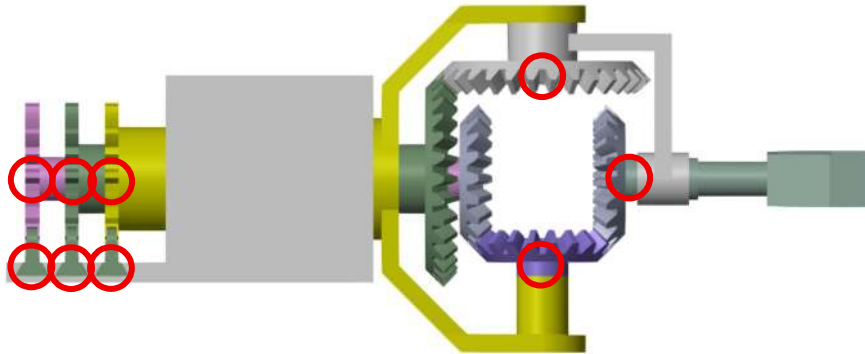
4.1 자유도 및 공간 기구 구조 해석



<그림6. 메커니즘의 링크 수>

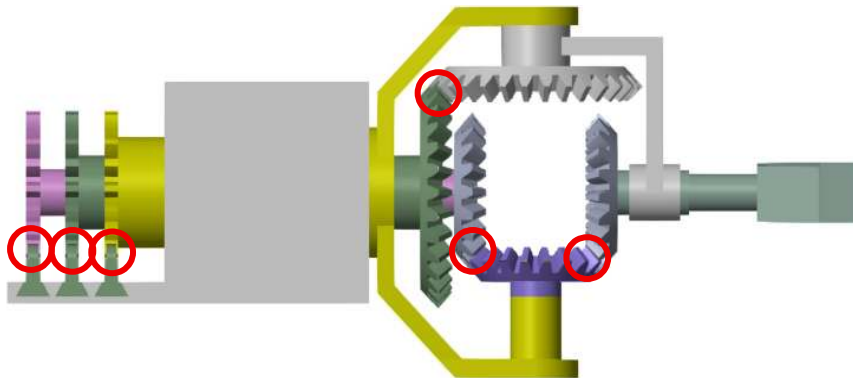
그림6.은 설계한 현 메커니즘에 대해서 링크 수가 10개임을 나타내는 그림이다. 베이스가 되는 회색 정육면체 블록과 랙의 가이드 역할의 블록은 고정된 하나의 링크로 볼 수 있고 3개의 랙이 있으며 각 피니언과 샤프트, 베벨기어 및

하우징을 하나의 링크로 설계하였기 때문에 분홍색, 초록색, 노란색 회전체와 보라색 베벨기어, 회색 베벨기어, End Effector(끝단에 연결된 베벨기어 포함)를 합쳐서 총 10개의 링크를 가진다는 것을 확인할 수 있다. 이 10개의 링크가 가질 수 있는 최대 자유도 개수는 10개의 모든 링크가 6가지의 움직임이 가능하다는 전제 하에 최대 60개의 자유도를 가질 수 있다는 것을 의미한다. 그러나 실제로 자유도는 60이 아니고 구속 조건에 의해 많은 자유도를 제한당한다.



<그림7. 1자유도 조인트>

그림7.은 현 메커니즘에 대해서 1자유도 구속은 총 9개가 존재한다는 것을 나타내는 그림이다. 이는 6가지 움직임 중 5가지를 제한하는 조인트가 9개가 있다는 의미로 자유도를 총 45개 제한하는 것을 나타낸다.



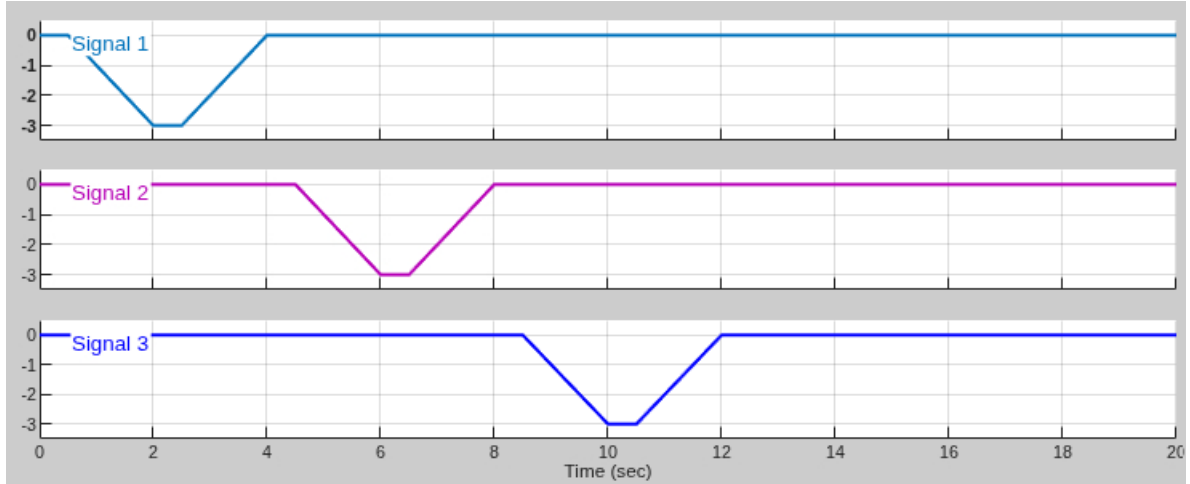
<그림8. 기어 구속>

그림8.은 현 메커니즘에 대해서 기어 구속이 6개가 존재한다는 것을 나타내는 그림이다. 기어 구속은 자유도를 1개 더 구속하는 조건으로 추가로 자유도 6개를 제한하는 것을 의미한다. 이를 통해 자유도 분석을 해보자면 아래의 수식으로 나타낼 수 있다.

$$F = 6 \times (n - 1) - \sum L - c = 6 \times (10 - 1) - (5 \times 9) - 6 = 3 \quad (n: \text{링크 수}, L: \text{조인트 구속 수}, c: \text{기어 구속})$$

따라서 본 1조가 설계하여 구현한 기어 구동식 구형 손목 메커니즘은 3자유도를 가진다고 해석이 가능하다.

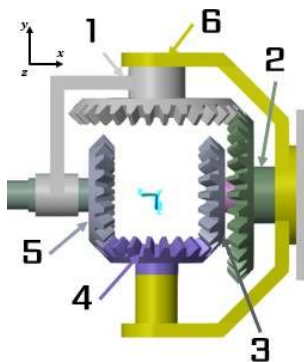
4.2 속도비 해석



<그림9. 랙 입력 신호(mm)>

그림9.는 그림3에서 볼 수 있듯이 랙의 직선 운동을 나타내는 Prismatic 구속 블록에 Inputmotion으로 입력 신호를 주는 것을 나타내는 그래프다. 이 그래프를 보면 랙의 선속도의 크기를 2mm/s로 설정하여 각 랙이 동시에 움직이지 않고 하나씩 움직여서 각 랙의 움직임이 어떤 결과를 초래하는지를 분석하려고 한다.

피니언의 각속도 크기는 랙의 선속도 크기에 의해서 $|\omega_{pinion}| = \frac{|v|}{r} = 1 \text{ [rad/s]}$ 로 구할 수 있다. 이때 베벨기어부에 대해서 속도비 해석은 아래 수식과 같다.



<그림10. 베벨기어부>

1,2,6)

$$N_1(\omega_1 - \omega_6) \cdot \vec{e}_1 + N_2(\omega_2 - \omega_6) \cdot \vec{i} = 0$$

3,4,6)

$$N_4(\omega_4 - \omega_6) \cdot \vec{e}_4 + N_3(\omega_3 - \omega_6) \cdot \vec{i} = 0$$

1,4,6)

$$N_4(\omega_4 - \omega_1) \cdot \vec{e}_4 + N_5(\omega_5 - \omega_1) \cdot \vec{e}_5 = 0$$

Case 1번 : 그림10의 3번 기어만 회전

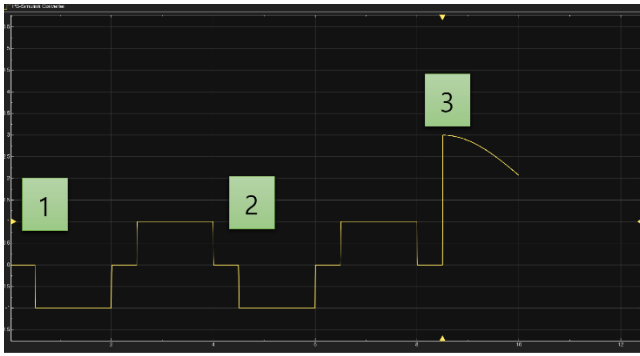
1,2,6)

$$N_1(\omega_1 - \omega_6) \cdot \vec{e}_1 + N_2(\omega_2 - \omega_6) \cdot \vec{i} = 0$$

$\omega_1 = 0$	
3,4,6)	$N_4(\omega_4 - \omega_6) \cdot \vec{e}_4 + N_3(\omega_3 - \omega_6) \cdot \dot{i} = 0$ $N_4 \omega_4 \cdot \vec{j} + N_3 \omega_3 \cdot \dot{i} = 0$
1,4,6)	$N_4(\omega_4 - \omega_1) \cdot \vec{e}_4 + N_5(\omega_5 - \omega_1) \cdot \vec{e}_5 = 0$ $N_4 \omega_4 \cdot \vec{j} + N_5 \omega_5 \cdot \dot{i} = 0$
➤ $ \omega_3 = \omega_5 $	
Case 2번 : 그림10의 2번 기어만 회전	
1,2,6)	$N_1(\omega_1 - \omega_6) \cdot \vec{e}_1 + N_2(\omega_2 - \omega_6) \cdot \dot{i} = 0$ $ \omega_1 = \omega_2 $
3,4,6)	$N_4(\omega_4 - \omega_6) \cdot \vec{e}_4 + N_3(\omega_3 - \omega_6) \cdot \dot{i} = 0$ $\omega_4 = 0$
1,4,6)	$N_4(\omega_4 - \omega_1) \cdot \vec{e}_4 + N_5(\omega_5 - \omega_1) \cdot \vec{e}_5 = 0$ $-N_4 \omega_1 \cdot \vec{e}_4 + N_5 \omega_5 \cdot \vec{e}_5 = 0$
$ \omega_1 = \omega_2 = \omega_5 $	
Case 3번 : 그림10의 6번 하우징만 회전	
$\omega_6 \neq 0$ 이므로 ω_5 는 3차원 상에 축이 존재하며 이를 통해 계산하는 것은 매우 복잡하다. 그러나 $ \omega_1 = \omega_4 = \omega_6 $ 를 만족함을 확인할 수 있다. ω_5 는 계산이 복잡하므로 다루지 않는다.	

<표2. Case별 속도비 해석>

앞서 3가지 경우에 대해서 베벨기어부의 속도비를 확인할 수 있었다. 이 해석이 올바른지 확인하기 위해 그림9의 랙 직선운동의 Inputmotion 신호를 통해서 그림10의 5, 4, 1번의 각속도를 그래프로 나타내보았다.



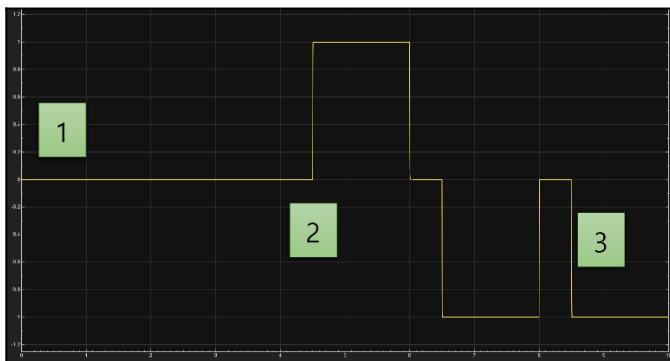
<그림11. 시간에 따른 ω_5 그래프(rad/s)>

그림2.에 해당하는 피니언과 대응하는 그림9.의 랙 1, 2, 3 번의 신호에 의해 ω_5 가 앞서 해석한 속도비와 동일하게 나옴을 나타내는 그래프이다.
다만 랙 3번의 신호에 의해 마지막에 비선형적인 신호의 형태를 띄게 되었다.



<그림12. 시간에 따른 ω_4 그래프(rad/s)>

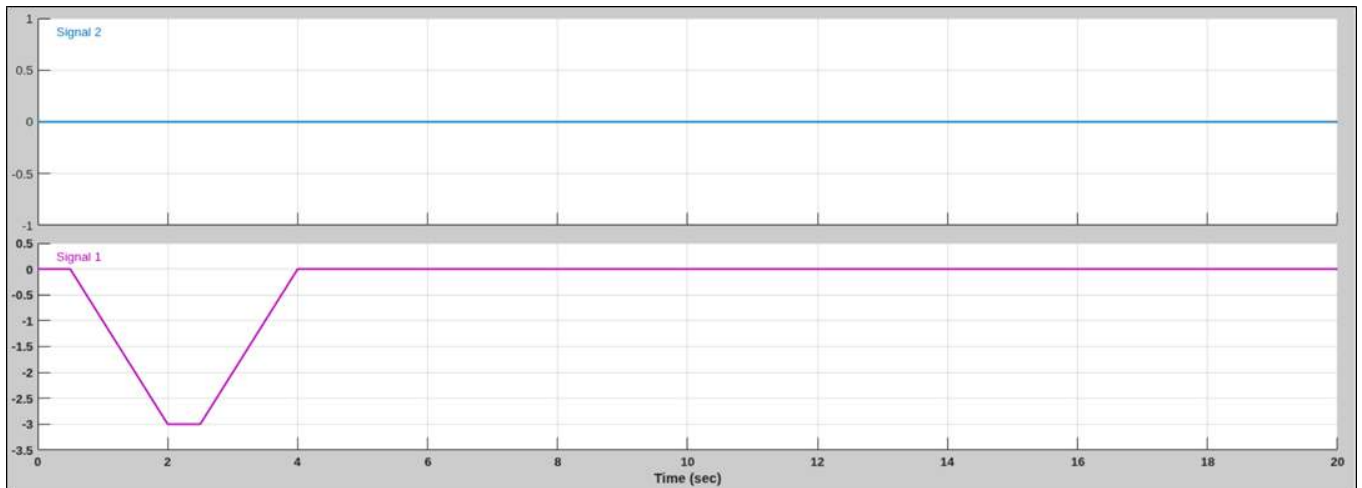
그림2.에 해당하는 피니언과 대응하는 그림9.의 랙 1, 2, 3 번의 신호에 의해 ω_4 가 앞서 해석한 속도비와 동일하게 나옴을 나타내는 그래프이다.
속도비 해석으로 알 수 있는 결과와 동일하게 나타남을 알 수 있다.



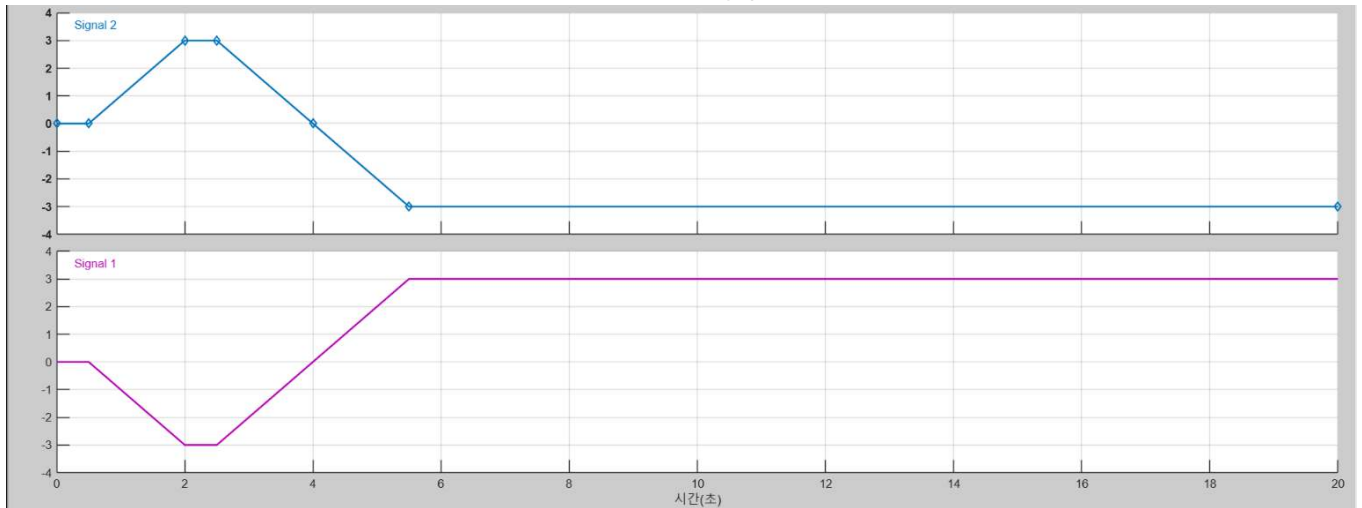
<그림13. 시간에 따른 ω_1 그래프(rad/s)>

그림2.에 해당하는 피니언과 대응하는 그림9.의 랙 1, 2, 3 번의 신호에 의해 ω_1 가 앞서 해석한 속도비와 동일하게 나옴을 나타내는 그래프이다.
속도비 해석으로 알 수 있는 결과와 동일하게 나타남을 알 수 있다.

이를 통해 앞서 해석한 속도비가 올바르게 해석되었다는 것을 확인했다. 이를 통해 랙의 움직임으로 원하는 End Effector의 움직임을 만들어낼 수 있다. 예시로 2가지 경우를 비교할 수 있다.



<그림14. Yaw 제어 신호1>



<그림15. Yaw 제어 신호2>

그림14.와 그림15.는 그림2.의 1번과 2번 피니언에 대응하는 1번 랙과 2번 랙의 Inputmotion 신호(mm)이다. 그림 14.와 그림15.는 동일하게 2번 랙을 움직여서 End Effector를 좌우로 회전시키는 모습을 보여준다. 그러나 1번 랙을 움직이지 않는 경우와 1번 랙을 2번 랙과 크기는 동일하지만 방향이 반대인 속도로 움직이게끔 한 경우로 이 2가지는 End Effector의 움직임에 큰 차이를 보이게 한다. 그림14.의 경우 1번 랙이 움직이지 않아. 보라색 베벨기어가 정지해있는 상태이므로 End Effector의 베벨기어가 맞물려서 회전하여 End Effector가 회전하면서 좌우로 움직이게 된다. 그림 15의 경우 1번 랙이 2번 랙과 반대 방향으로 동일한 속도로 움직이기 때문에 보라색 베벨기어와 End Effector의 베벨기어가 맞물리지 않고 형태를 유지한채 같이 회전하게 되어 End Effector가 자체적으로 회전하지 않고 위치를 고정한 채 좌우로 움직이게 된다. 만약 그림14.의 End Effector 회전 방향이 시계방향이라고 했을 때 End Effect 회전 방향을 반시계방향으로 회전시키고 회전 속도의 크기는 그림14.와 동일하게 하고 싶다면 그림15의 1번 랙 신호에서 기울기, 즉 속도를 2배로 늘리면 원하는 대로 구현이 가능하다. 이처럼 속도비를 통해서 원하는 동작을 할 수 있게 제어가 가능하다.

III. 결론

5. Matlab Simscape Multibody 모델링 구현

5.1 메커니즘 장단점 및 설계 시 고려사항

본 프로젝트를 통해 분석한 ‘기어 구동식 구형 손목 메커니즘’은 기존 로봇 손목의 구조적 한계를 극복하려는 구동 방식임과 동시에 기구학적으로 여러 장단점과 명확한 설계적 고려사항을 지니고 있다. 현 메커니즘의 장단점은 아래와 같다.

장점

- 구동부의 원격 배치로 인한 관성 모멘트 감소
무거운 액추에이터를 움직임이 많은 손목 관절 부위에 직접 부착할 필요가 없다. 동력 발생부인 랙 을 기저부쪽으로 분산 배치할 수 있어 End Effector의 무게와 부피를 획기적으로 줄일 수 있고 이는 시스템 전체의 동적 관성력을 낮추어 훨씬 빠르고 정밀한 고응답성 제어를 가능하게 도와준다.
- 차동 기어열을 이용한 3자유도 분리 제어
직교하는 차동 베벨 기어열을 적용함으로써 단순한 랙의 병진 운동만으로 공간상에서 Roll, Pitch, Yaw 모션을 제어할 수 있다.
- 말단부 링크 길이 변경의 유연성
기구학적 구조상 End Effector의 길이 및 형태를 가변적으로 모델링하기 용이하다. 이를 통해 작업 환경이나 목적에 맞추어 가동 영역을 효과적으로 확장하거나 변경할 수 있는 설계적 유연성을 제공한다.

단점

- 구조적 회전 각도 한계
무한히 회전할 수 있는 일반 직렬 모터 구동과 달리 본 메커니즘은 구조적인 회전 각도 제약을 가진다. 입력부인 랙의 스트로크에 의해 1차적인 회전 반경이 결정되며 출력부에서는 베벨기어 치형의 물리적 맞물림과 간섭으로 인해 최대 회전각이 제한된다. 즉 일정 각도 이상으로 꺾이거나 회전할 수 없는 구조적 한계를 가진다.
- 백래시 누적으로 인한 정밀 제어 어려움
동력이 랙, 피니언, 3중 동축 샤프트, 차동 베벨기어로 이어지는 매우 길고 복잡한 경로를 거쳐 전달되는데 이 과정에서 필연적으로 기어 이빨 사이의 틈인 백래시가 발생하고 누적되어 출력단에서의 정확한 위치 및 각도 제어가 어려워진다.

<표3. 기어 구동식 구형 손목 메커니즘 장단점>

설계 시 고려사항으로 랙의 스트로크와 피니언 반경의 최적화가 필요하다. 앞서 언급한 좁은 가동 범위 문제를 해결하기 위해서는 설계 단계에서 요구되는 Roll, Pitch, Yaw 각도를 먼저 산정해야 한다. 이를 바탕으로 랙의 충분한 스트로크를 확보하거나 기계적 이득을 고려하여 피니언 기어의 반경을 최적의 크기로 설계하여 원하는 가동 범위를 달성할 수 있도록 해야한다. 또한 백래시 보상을 위한 기계 및 제어 설계를 고려해야한다. 기어 구조가 겹겹이 쌓여있는 특성상 정밀도 향상을 위한 대책이 필수적이다. 기계적으로 듀얼 피니언이나 스프링 예압 기어 등을 사용하여 백래시를 물리적으로 최소화하는 설계가 고려되어야 하며 소프트웨어적으로 엔코더의 위치 값을 피드백받아 제어 알고리즘에 오차를 보상하는 과정이 반드시 동반되어야 한다.

5.2 프로젝트를 통한 소감

본 1조는 ‘기어 구동식 구형 손목 메커니즘’에 대하여 Matlab Simscape Multibody를 이용하여 기구학적으로 메커니즘을 구현하여 시뮬레이션을 통한 시각화 및 분석을 진행해보았다. 이를 통해 조장을 포함한 조원 모두 메커니즘 설계에 대해서 생각보다 훨씬 복잡하고 고려해야할 사항이 많다는 것을 다시 한번 깨닫는 시간을 가지게 되었다. 아래의 내용은 각 조원들이 얻은 소감을 낸다.

진호경 (조장)	메커니즘 영상에 대해서 분석을 통해 구동 계획을 수립했기에 Matlab Simscape Multibody 시뮬레이션에서의 메커니즘 구현이 순탄하게 진행될 것으로 예상했지만 막상 프로그램을 통해 블록 구성 및 좌표계 설정 등의 본격적인 설정을 시작해보니 원인 모를 변수 오류와 조인트 구속 에러가 계속 발생하였다. 이를 해결하고 원하는 메커니즘을 구현하기 위해 많은 시간을 들여야 했다. 특히 모델의 완성도를 높이기 위해 마지막까지 치수와 좌표계를 정밀하게 다듬으며 모델링 역시 실제 설계만큼이나 엄격한 디테일이 필요함을 깨달았다.
김한나	이번 과제 활동을 통해 기구학에서 가장 기본이라 여겨지는 기어 메커니즘이 실제 구현 단계에서는 가장 까다롭고 정밀함을 요구한다는 것을 배울 수 있었다. 단순한 정속 회전 하나를 만들기 위해서도 여러 개의 기어와 조인트 구속 조건들이 유기적으로 맞물려야 함을 보며 기어 구속과 동력 전달 설계의 중요성을 깊이 체감할 수 있었다. 특히 복잡한 메커니즘을 구현하기 위해 각 기계 요소간의 구속 관계를 설정하면서 이론적으로만 배웠던 내용과 시스템의 역학적 연동 원리에 대한 이해를 심화하는 계기가 되었다.
박성환	복잡한 링크 구조 및 기어 구동의 기구학적 특성을 분석하고 다축 기어 체계의 구동 신호를 입력하여 말단부의 다자유도 거동을 제어하는 시뮬레이션을 진행했다. 메커니즘을 연구한 끝에 의도한 대로 완벽히 움직였을 때 공학적으로 큰 성취감을 느꼈고 복잡한 다축 결합 구조를 직접 다뤄보면서 메커니즘을 분석하는 시야가 확실히 넓어졌다. 특히 입력 신호를 변경해가며 메커니즘의 최종 거동을

	원하는 형태로 완성했던 과정은 엔지니어로서의 자신감을 키우는 계기가 되었다.
박효빈	Matlab을 활용한 시뮬레이션 선행 검증을 통해 실제 기계 설계와 마찬가지로 철저한 조건 검증이 선행되어야 함을 깨달았다. 가상 환경 내부에서 정밀한 구현을 위한 구속 조건을 설정하는 과정에서 수많은 시행착오를 겪었지만 마침내 메커니즘이 의도대로 완벽하게 작동하는 모습을 보며 포기하지 않는 엔지니어링 마인드의 중요성을 배웠다. 메커니즘을 직접 구동해보며 향후 메커니즘 설계 시 제어의 편의성까지 함께 고려해야한다는 공학적 측면의 넓은 시야가 생겼다.

<표4. 프로젝트 소감>