



ALTAIR OPTIMIZATION CONTEST 2020

인하대학교 기계공학과

발표자 : 김동연, 소병준

CONTENTS

01 OUTLINE

- 1.1 Key Word
- 1.2 설계목표
- 1.3 Wheelchair Model

02 ANALYSIS SUMMARY

- 2.1 평지 및 경사에서의 최적화
- 2.2 회전 반경에 따른 최적화

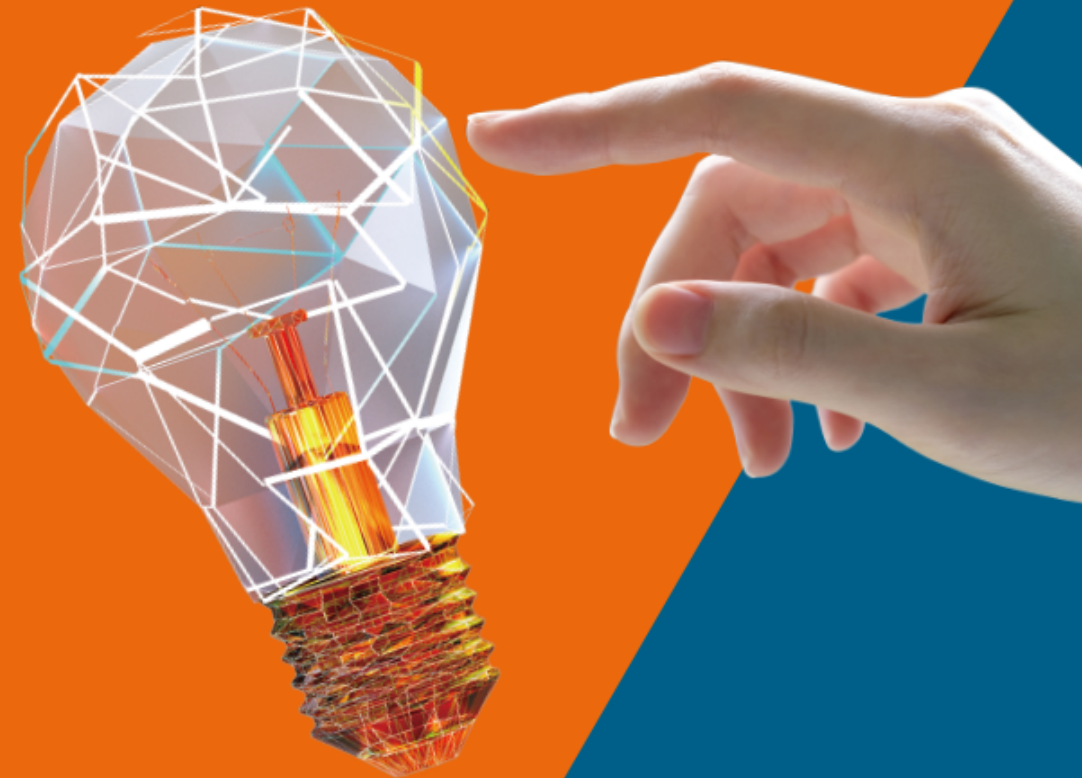
03 ANALYSIS

- 3.1 진행과정
- 3.2 전처리과정-구속조건설정
- 3.3 직진 시 가속도 최적화
- 3.4 회전반경 최적화

04 CONCLUSION

CAE분야 세계 1위 알테어와 함께하는

AOC 2020



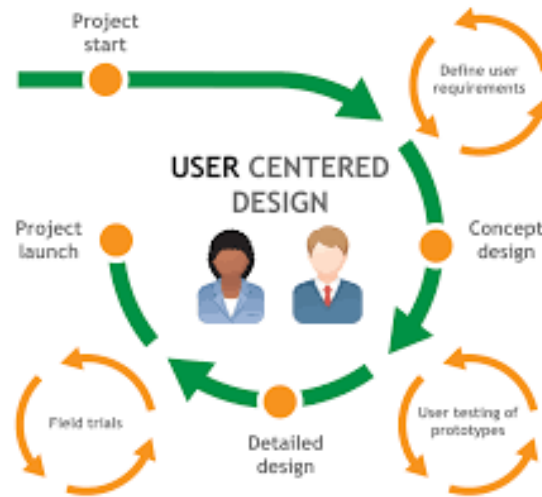
OUTLINE



1.1 Key Word



Electric Powered Wheelchair



User centered design



Multi Body Dynamics

1.3 Wheelchair Model

이번 프로젝트에서 사용한 휠체어 모델은 앞바퀴에 전방향 바퀴(Omni Directional Wheel)를 적용한 휠체어이다.

전방향 바퀴는 큰 바퀴 하나와 여러 개의 작은 바퀴로 이루어져 있으며 두 방향의 회전축을 가져 평면상에서 모든 방향으로 이동이 가능하다.

아래 영상은 양쪽 바퀴를 반대방향으로 돌렸을 때 제자리에서 회전을 하는 모습을 나타냈다. 이는 실내와 같이 좁은 공간에서 원하는 방향으로 쉽게 회전시켜주는 장점을 가지고 있다.



설계목표



안전성

방향 전환 및 경사진 도로를 이동 할 때 휠체어의 전복을 사전에 방지하여 이용자의 부상을 예방한다.

기동성

법적 허용 속도를 준수하며 최대한의 기동성을 확보하여 이용자의 만족도를 높인다.

최적의 제어 조건 설정하기

1.4 Altair Inspire 2020



‘Altair Inspire 2020’ 제품을 활용하여 이번 프로젝트의 다물체 동역학 해석을 수행하였다.

‘Hyperworks Motion View’ 제품을 활용할 경우 더욱 정교하고 질 높은 해석 결과를 얻을 수 있지만 사용 방법이 어렵고, 해석하는데 시간이 오래 걸린다는 단점이 있다.

하지만 ‘Inspire’을 통해 해석을 할 경우 전처리 과정부터 간편하고 직관적인 UI를 통해 해석을 수행할 수 있으며 해석 시간에서도 Motion View 제품보다 빠르게 진행할 수 있어 ‘Altair Inspire 2020’을 선택하였다.

ANALYSIS SUMMARY



2. 해석 조건 설정

직선 주행 최적화

- 평지 및 경사에서의 주행
- 바퀴 들림, 전복 조건

회전 주행 최적화

- 평지에서의 회전 주행
- 바퀴 들림 및 회전반경 유지

2.1 평지 및 경사에서의 최적화

1) 평지 및 경사에서의 직진 시 가속도 최적화

- 대한민국 식약청에서 제시한 의료기기관련 규정에 따르면 전동휠체어의 최고속도는 15km/h 로 규정 되어있다. 이에 따라 휠체어의 속도를 15km/h로 정한 후 가속도를 최적화한다.
- 이동공간이 넓을 경우 이동에 걸리는 시간을 최소화하기 위해서는 휠체어의 속도를 최대한 빠르게 올려야 한다. 따라서 휠체어가 안정적으로 주행할 수 있는 최대 가속도를 찾아야 한다.
- 가속도가 너무 낮으면 최대속도에 도달하는 시간이 적어지므로 움직임에 있어 굼뜬 느낌을 받을 수 있으며 가속도가 과도하게 빠르면 뒤로 넘어질 수 있는 위험이 있다.
- 오르막길에서는 평지와 달리 무게중심이 뒤로 가게 되므로 보다 안정적으로 주행할 수 있는 가속도를 찾아내야 한다.
- 다음 페이지의 동영상은 정상적인 경우, 앞바퀴가 들리는 경우, 뒤로 넘어지는 경우를 나타낸 것이다.

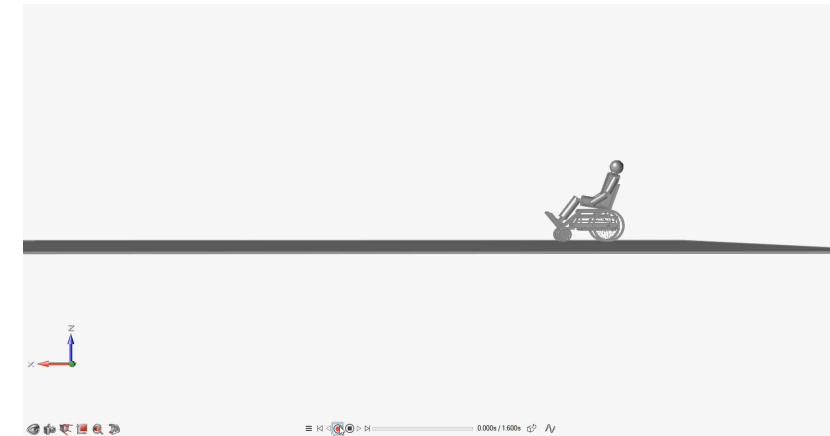
2.1 평지 및 경사에서의 최적화



동영상1 : 정상적인 주행



동영상2 : 앞바퀴 들림 현상



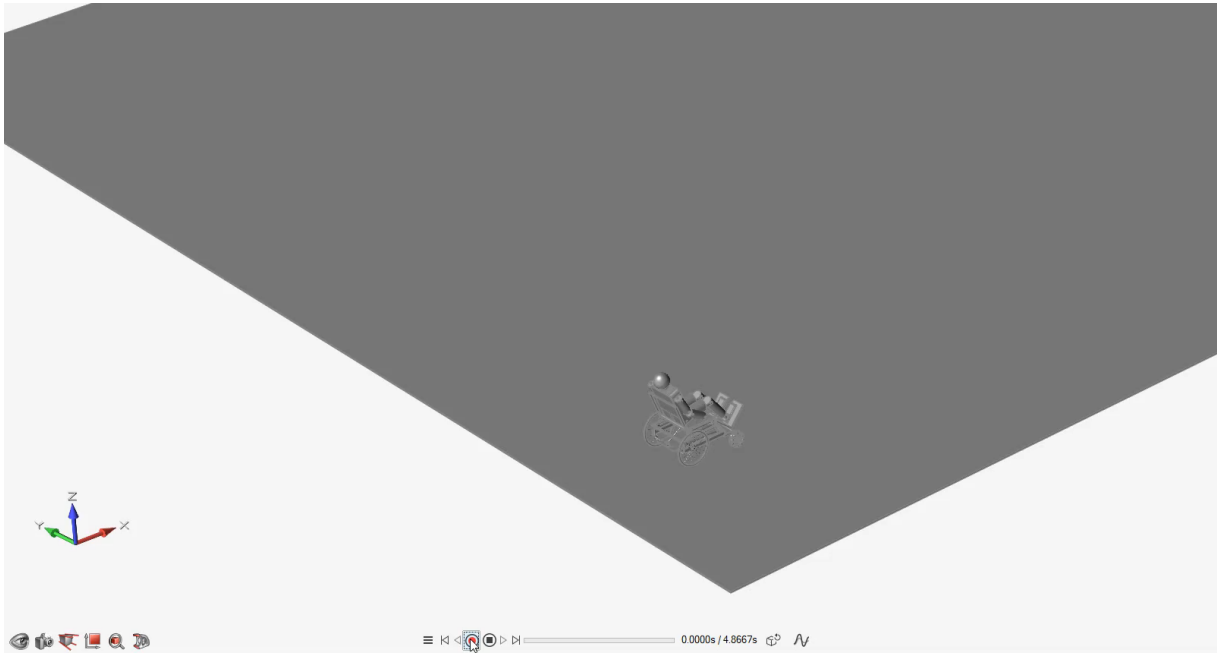
동영상3 : 전복

2.2 회전반경에 따른 최적화

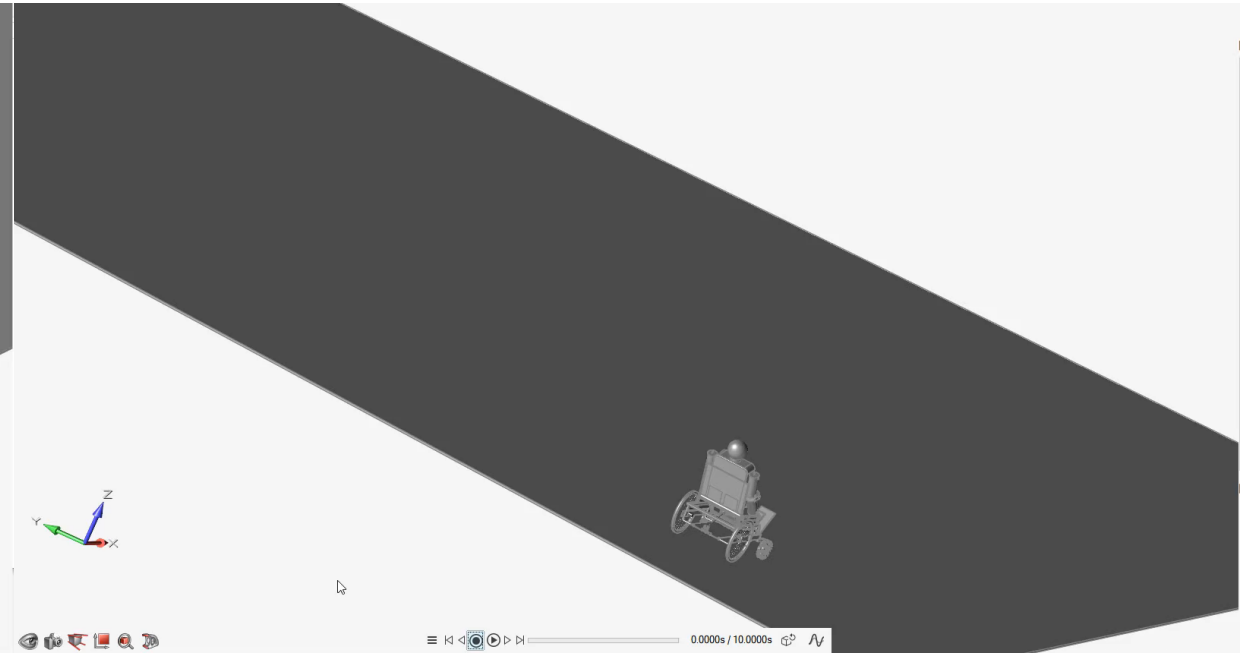
2) 회전반경 최적화

- 주행 중 회전을 할 경우 과도한 회전을 할 경우 휠체어가 전복되거나 한쪽 바퀴가 들릴 수 있기 때문에 주행속도에 따른 회전반경을 제안해야 한다.
- 회전반경은 작으면 작을수록 민첩하게 움직일 수 있지만 전복될 위험이 있다.
- 이번 프로젝트에서는 한쪽 바퀴가 최대속도인 15km/h에서의 회전조건을 변화하면서 최적의 회전반경을 찾는다.
- 이번 프로젝트에서는 정시상태에서 출발하여 회전하는 경우를 해석하였다.
- 다음 페이지의 동영상은 정상적인 회전 주행과 옆으로 전복되는 주행을 나타낸 것이다.

2.2 회전반경에 따른 최적화



동영상4 : 정상적인 주행



동영상5 : 전복

ANALYSIS



3.1 진행과정

STEP 1

전처리 단계

휠체어 모델링을 Altair Inspire에 Import한다. 이후 Geometry에 다양한 구속조건을 주어 해석할 수 있게 한다. Actuator 및 Motor의 세팅 값을 주어 원하는 모션을 해석할 수 있게 한다.

STEP 2

해석

전처리한 모델을 Altair Inspire에서 사용하는 Solver를 이용하여 모션을 해석하게 된다. Output Rate(Hz)를 주어 원하는 퀄리티의 모션을 설정할 수 있다.

STEP 3

데이터 추출 및 정리

해석을 한 모델에서 필요한 데이터를 추출한다. 가속도 최적화에서는 의자의 각도를 추출하여 들림 현상을 확인하였고, 회전반경 최적화에서는 회전방향측 바퀴의 무게 중심의 위치를 통해 들림 현상을 확인하였다.

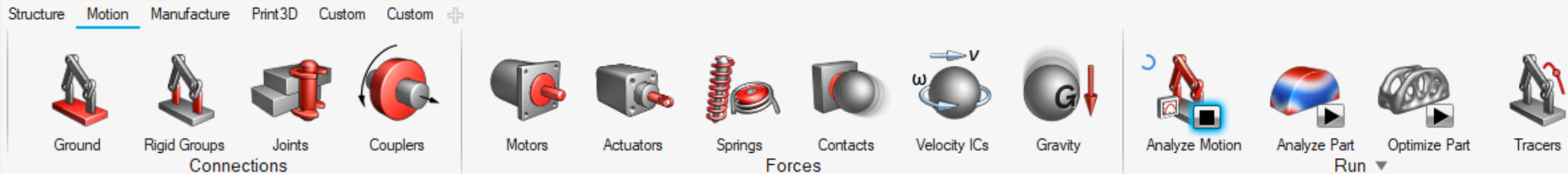
STEP 4

최적의 결과값 결정

추출해낸 데이터를 비교 분석하여 바퀴가 들렸는지 판단할 수 있는 기준을 찾을 수 있으며 이를 바탕으로 실제 제품에 적용시킬 가속도 및 회전반경 등을 결정한다.

3.2 전처리 과정 - 구속조건 설정

- Inspire 프로그램의 Motion 리본메뉴 탭을 통해 다물체로 모델링 된 휠체어를 다양한 조건으로 결합시켜 준다. 메뉴 구성을 기준으로 왼쪽에서 오른쪽 순서대로 설정한다.



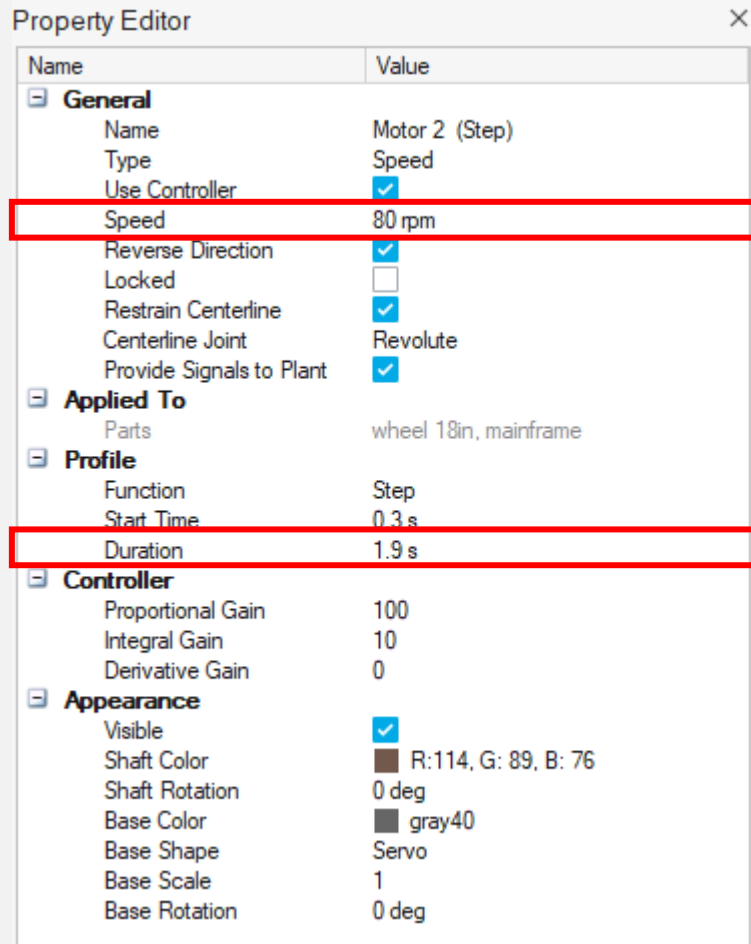
- Ground를 해석 중 고정되는 파트를 설정한다.
- Rigid Groups를 통해 용접 및 접합된 파트들을 결합시킨다.
- Joints를 통해 각종 링크들을 Pin, Hinge, Cylindrical 등의 조건으로 결합한다. 이후 특정 Joint들은 Motor 나 Actuator를 이용하여 구동계를 형성한다.
- Contacts를 통해 접촉되는 파트들을 설정해준다. 예를 들면 바퀴와 바닥, 기립 시 접촉되는 파트들 사이의 접촉조건을 설정한다.
- Gravity를 통해 중력 방향 및 크기를 설정한다.

3.3 직진 시 가속도 최적화

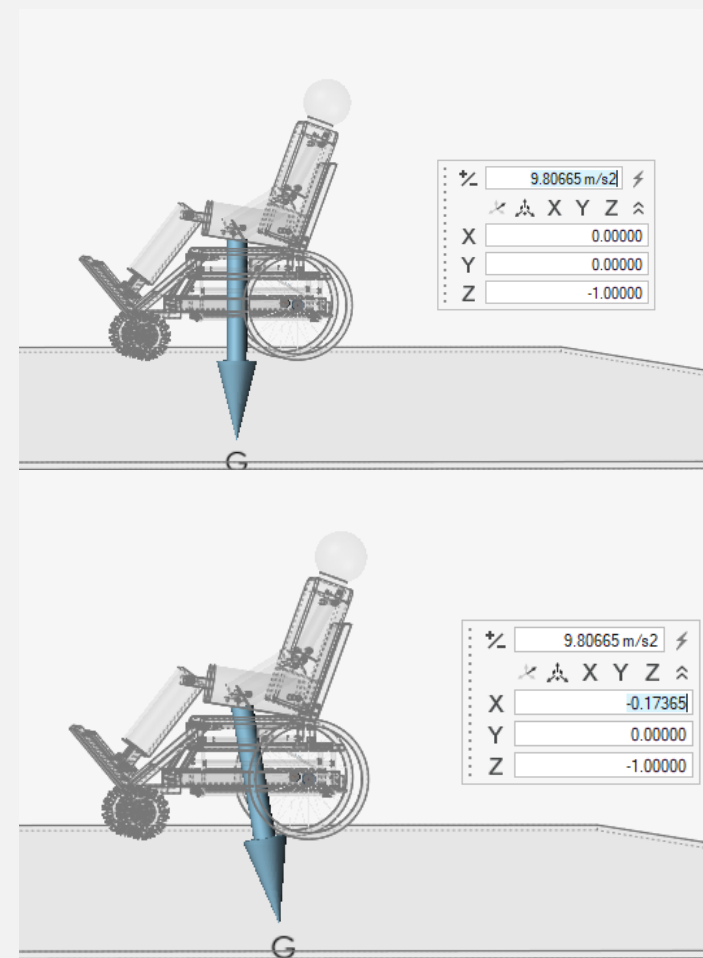
1) 전처리 개요

- Altair Inspire 2020 에서 지원하는 기능 중 Motors를 사용하여 모터를 제어할 수 있다.
- Motor의 설정 값을 제어할 변수는 크게 두가지로 하나는 Speed(rpm), 다른 하나는 Step duration(s)이다. Speed를 통해 모터의 회전속도를 결정하고, Step duration를 통해 설정한 속도에 도달하는 시간을 결정합니다. duration이 짧으면 가속도가 커진다.
- 가속도를 최적화 할 때 변화를 준 변수로는 Step duration이며 Speed는 174rpm(15km/h)로 고정했다.
- 앞바퀴가 들리는 것을 확인하기 위해 의자의 Angular Displacement를 확인한다.
- 경사는 중력의 방향벡터를 지정해줌으로서 설정하였다.

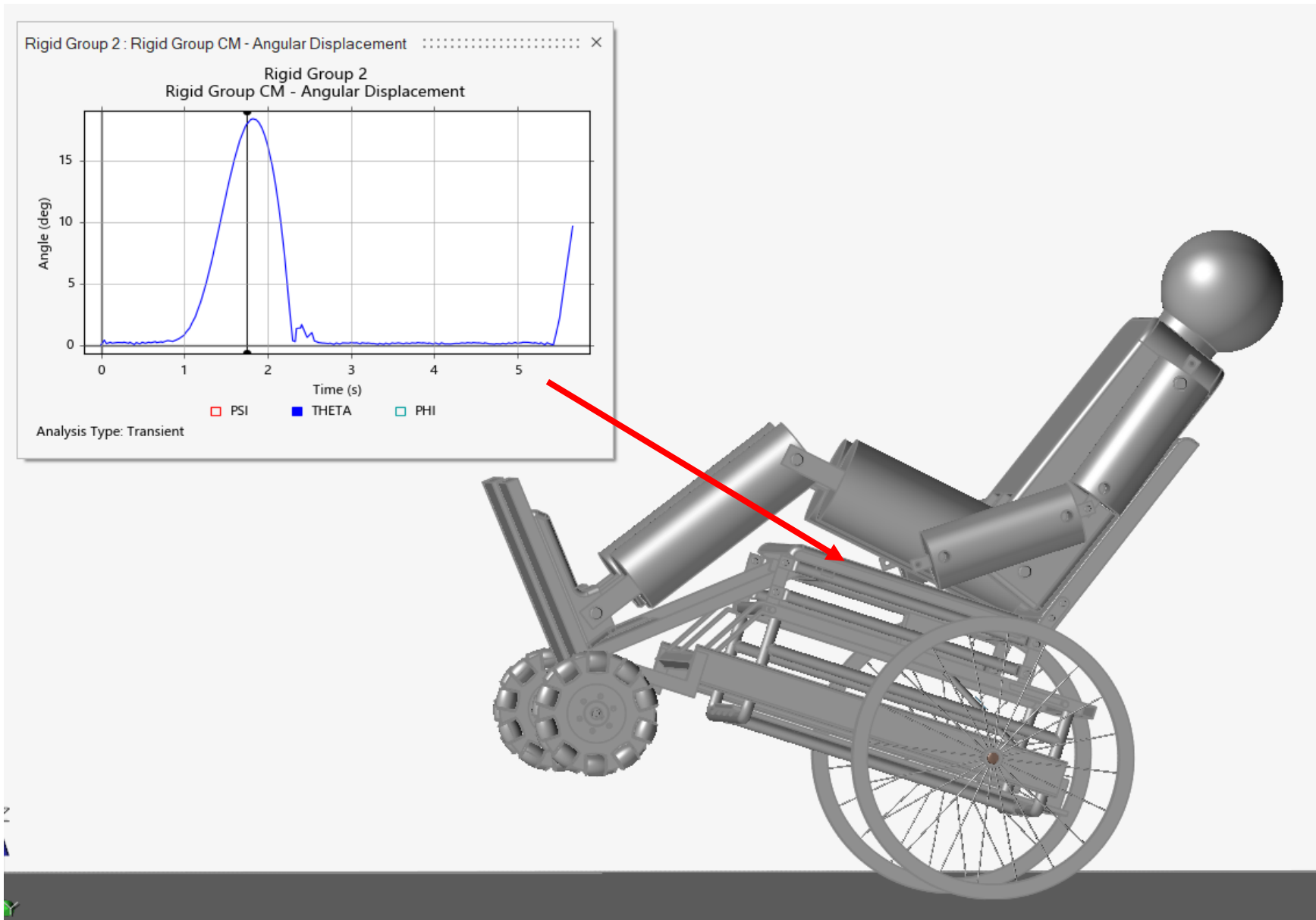
3.3 직진 시 가속도 최적화



모터의 세팅값

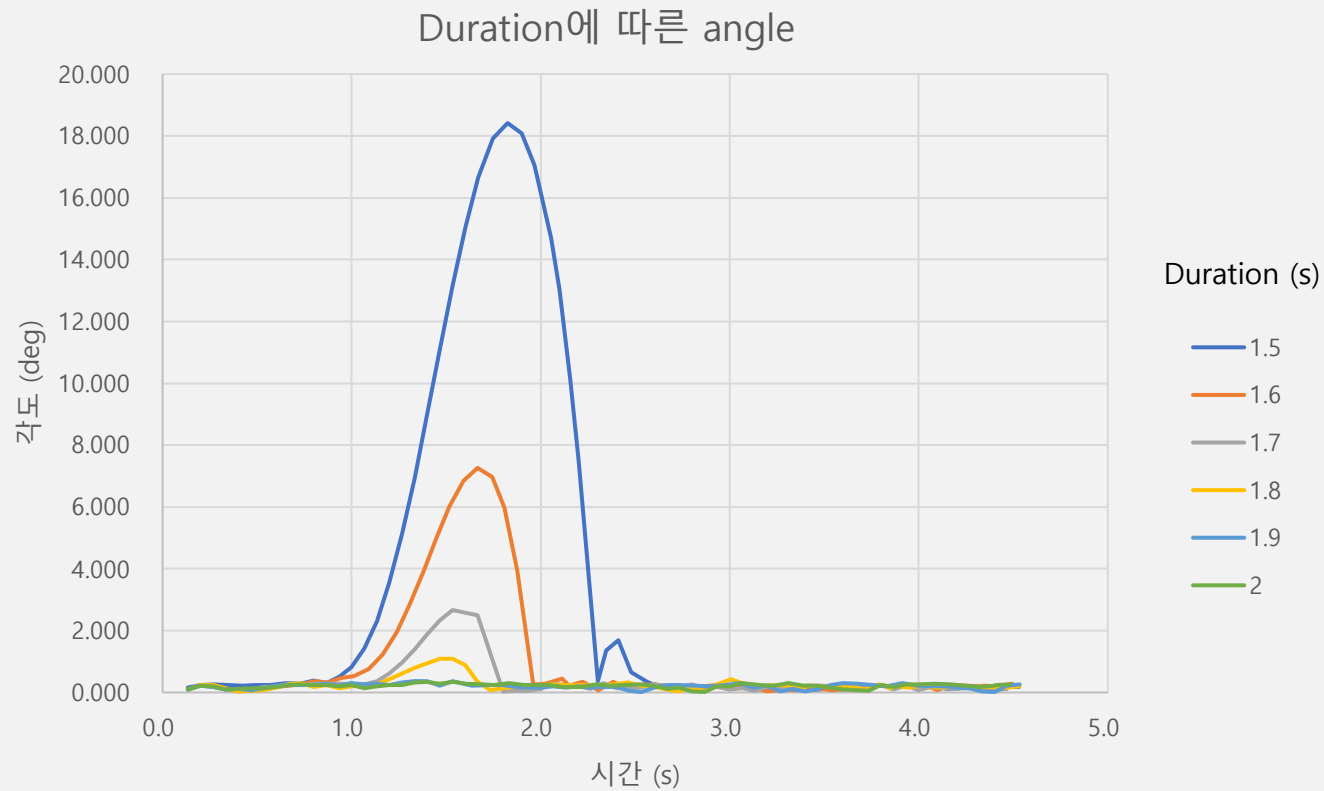


중력의 방향 설정 (위에서부터 0°, 10°)



3.3 직진 시 가속도 최적화

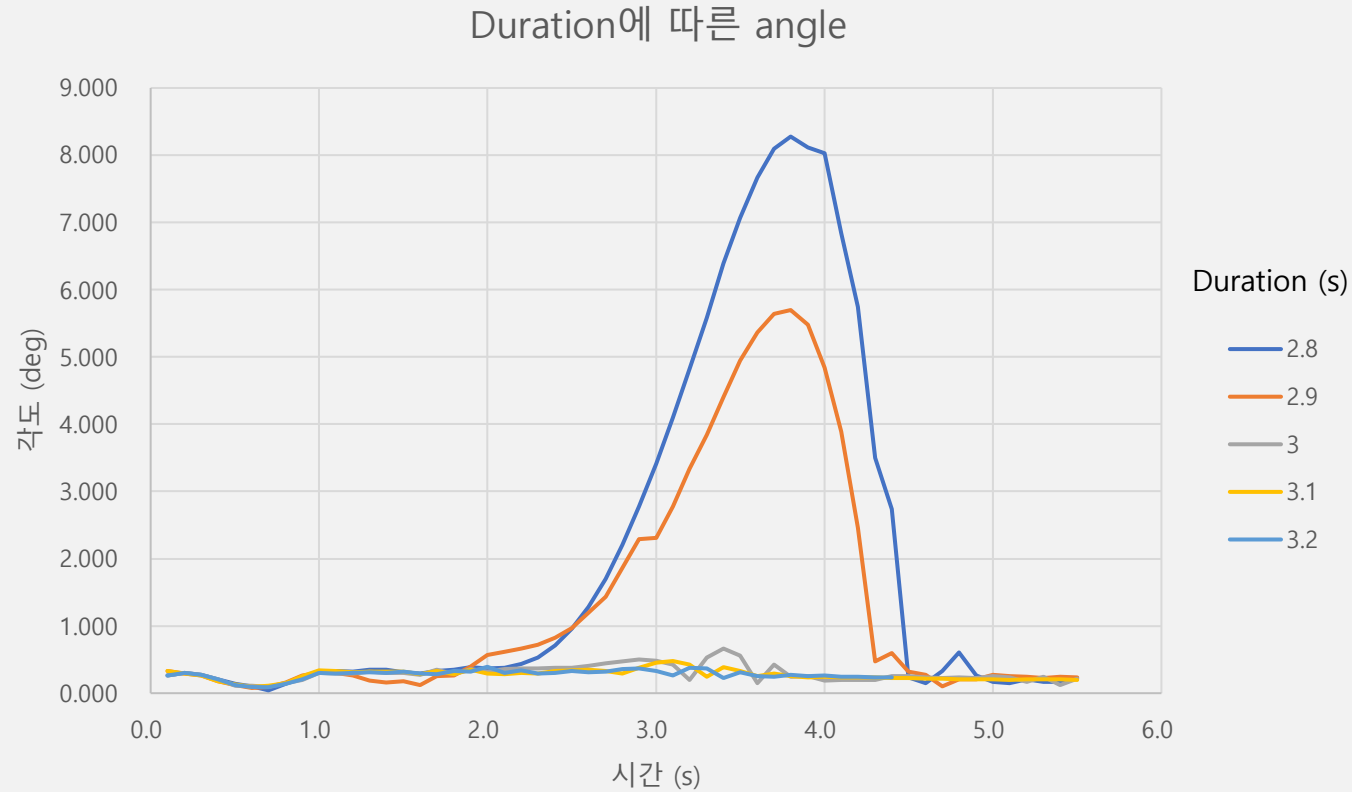
2) 평지에서 Duration에 따른 지면과 의자 사이의 각도



Duration(s)	Max deg(°)
1.5	18.4150
1.6	7.2632
1.7	2.6658
1.8	1.0901
1.9	0.3682
2.0	0.3409

3.3 직진 시 가속도 최적화

3) 경사(10°) 에서의 Duration에 따른 지면과 의자 사이의 각도

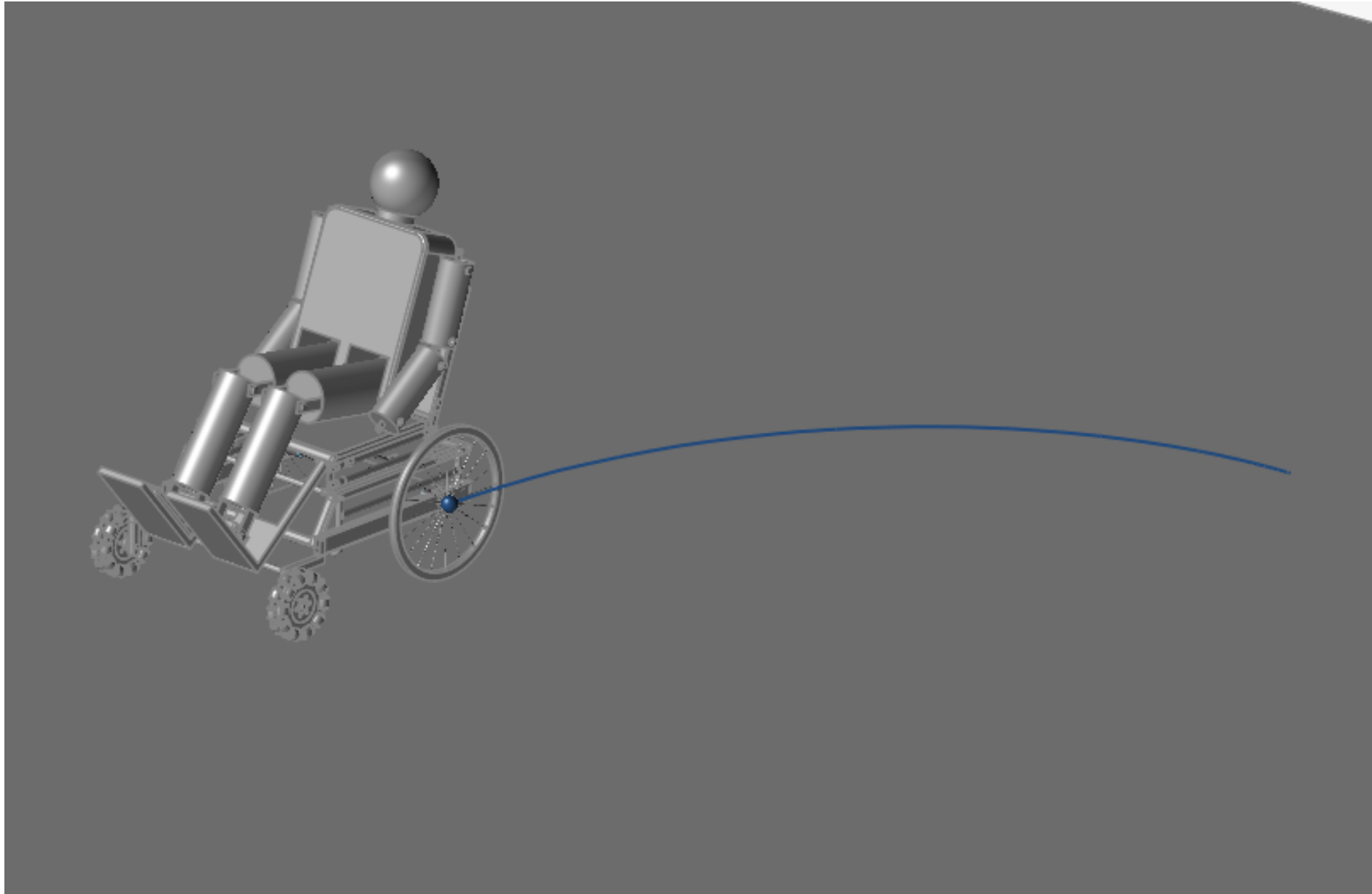


Duration(s)	Max deg(°)
2.8	8.277176
2.9	5.697487
3	0.663506
3.1	0.478096
3.2	0.392497

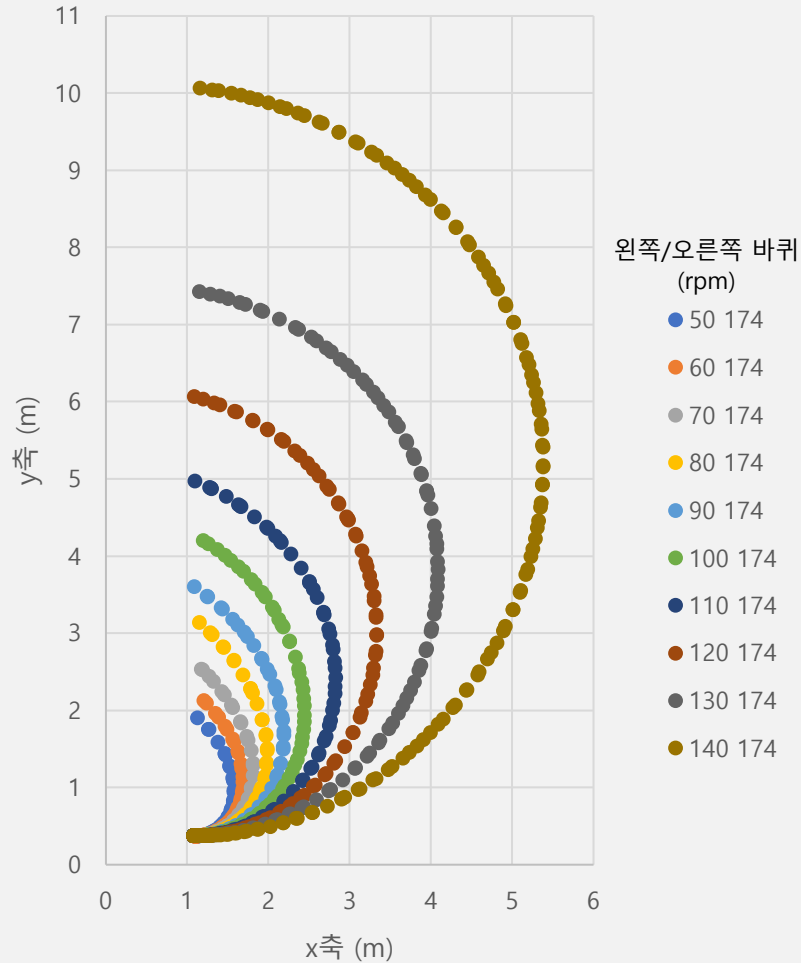
3.4 회전반경 최적화

1) 전처리 개요

- 앞선 step duration를 변수로 해석을 실행한 것과는 다르게 한쪽 바퀴의 speed를 변화시키면서 회전하는 모션을 확인한다.
- 한쪽 바퀴는 174rpm으로 고정시킨 후 다른 쪽 바퀴의 rpm을 변화시켜 휠체어의 궤적 및 바퀴가 들리는 정도를 확인한다.
- 초기 정지 상태에서 회전하는 상황을 가정하였으며, 모터의 Step Duration은 이전 해석에서 앞바퀴가 들리지 않는 1.9s 으로 설정하여 해석을 진행하였다.



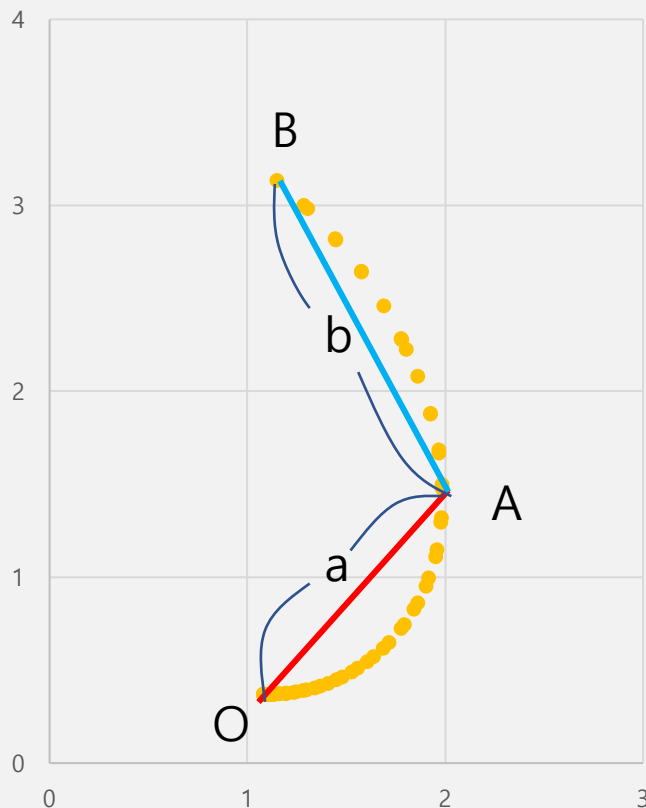
3.4 회전반경 최적화



- 왼쪽에 나타난 그래프는 오른쪽 바퀴는 174rpm으로 고정시킨 다음 왼쪽 바퀴를 50에서 140rpm까지 변화시켰을 때의 왼쪽 바퀴의 궤적(x-y 평면)을 나타낸 것이다.
- 식약청 의료기기 규정에 따르면 전동휠체어 회전반경은 최대 2300mm 이하를 만족해야 한다.
- 대체적으로 90° 회전하는 동안에는 원형 궤적을 유지하였지만 90° 이후부터는 원형에서 벗어나는 현상이 일어난다.
- 왼쪽바퀴의 rpm이 100 이하에서는 이러한 현상이 뚜렷하게 보였으며 110 이상부터는 어느정도 원형을 유지하는 것을 확인할 수 있다.
- 원형을 어느정도 유지하는지 비교하기 위해 원형계수를 정의하였으며 식은 다음 페이지에 제시했다.

3.4 회전반경 최적화

2) 원형계수 정의



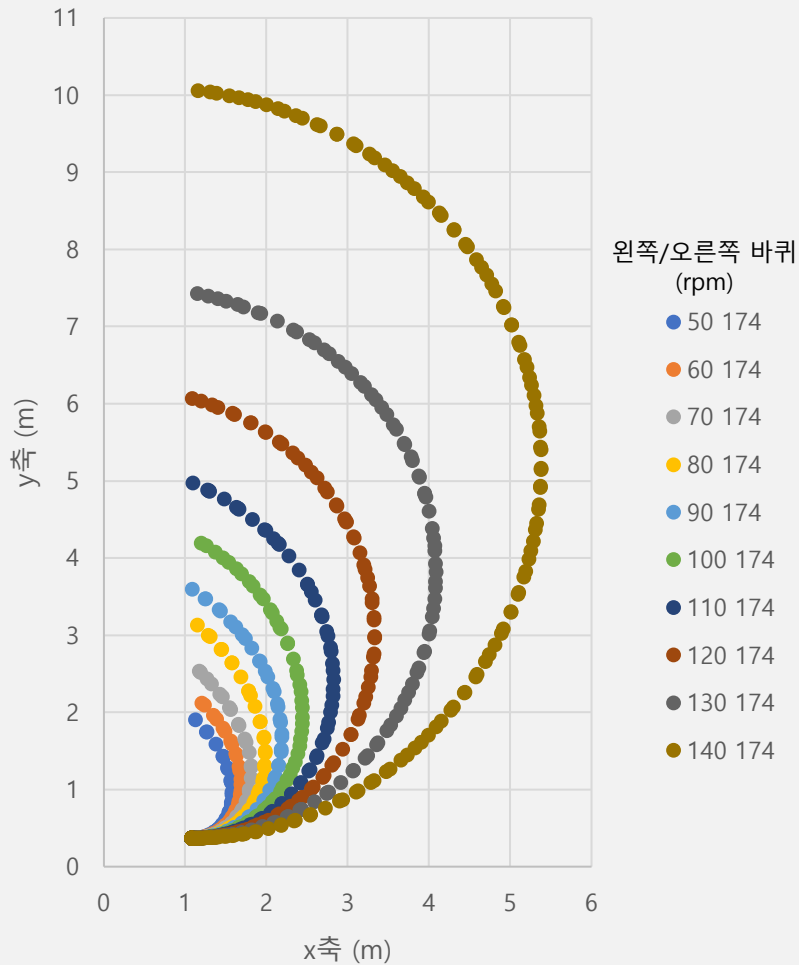
- 원형계수는 다음과 같이 정의한다.

$$\text{원형계수} = \frac{b-a}{a} \times 100\%$$

- 점 A는 x축의 최대가 되는 점이고 점 B는 출발지점(점 O)과 같은 x값을 갖는 점으로 정의한다.
- 원형계수가 0에 가까울수록 원형에 가까워진다.
- 원형계수가 클수록 회전이 잘 안된 것을 확인할 수 있다.

3.4 회전반경 최적화

3) 해석 결과



	Z[max]-Z[min] (mm)	회전반경(mm)	반경계수(%)
50	9.71	530	66.75%
60	17.52	653	46.86%
70	9.18	829	34.06%
80	8.87	1009	40.94%
90	4.94	1211	31.77%
100	6.16	1467	31.00%
110	2.54	1904	19.67%
120	2.26	2436	13.19%
130	1.77	3234	3.12%
140	2.32	4554	1.36%

CONCULUTION



4.1 직진 시 가속도 최적화

1) 평지에서의 Duration에 따른 지면과 의자 사이의 각도

- Duration이 1.5s 부터 1.7s 까지의 휠체어 모션해석에서는 육안상으로 휠체어가 들렸다는 것이 보였으며 1.8s에서는 자세히 봐야 들리는 것이 겨우 보인다.
- 따라서 상대적으로 감소폭이 적어지기 시작하는 1.9s가 가장 최적의 Duration이라고 판단할 수 있다.
- 실제로 제품화 할 경우 안전을 위하여 Duration이 1.9s보다 약 1.5배 큰 2.7s를 적용시킨다.

Duration(s)	Max deg(°)
1.5	18.4150
1.6	7.2632
1.7	2.6658
1.8	1.0901
1.9	0.3682
2.0	0.3409

4.1 직진 시 가속도 최적화

2) 경사(10°) 에서의 Duration에 따른 지면과 의자 사이의 각도

- 앞선 평지에서 해석한 것과 같이 의자의 각도가 상대적으로 감소폭이 줄어들기 시작하는 3s가 적절한 것으로 판단된다.
- 휠체어 내에 가속도 센서를 통해 경사의 각도를 측정하고 10° 이내의 경사에서는 3s의 Duration을 갖도록 제어한다.
- 이전과 같이 제품화 할 경우 안전을 위해 3s에 1.5배를 한 4.5s의 Duration을 갖는 가속도를 적용시킨다.

Duration(s)	Max deg($^\circ$)
2.8	8.277176
2.9	5.697487
3	0.663506
3.1	0.478096
3.2	0.392497

4.2 회전반경 최적화

- 원형계수가 30% 이상, 그리고 바퀴의 Z축 최대 이동량($Z[\max]-Z[\min]$)이 큰 100rpm 이하의 경우는 바퀴가 뜨는 걸로 판단할 수 있으며 원하는 궤적에서 많이 벗어나므로 추천되지 않는다.
- 반대로 120rpm 이상에서는 회전반경이 매우 커지므로 회전을 할 때 민첩하지 않게 되므로 추천되지 않는다. 실제 대한민국 식약청에서 제시한 규정에서는 최대 회전반경은 야외에서 사용시 2300mm이다.
- 따라서 한쪽 바퀴가 174rpm일 때 회전을 할 경우 110rpm에서 회전하는 것이 가장 적절하다.

바퀴rpm	Z[max]-Z[min] (mm)	회전반경(mm)	반경계수(%)
50	9.71	530	66.75%
60	17.52	653	46.86%
70	9.18	829	34.06%
80	8.87	1009	40.94%
90	4.94	1211	31.77%
100	6.16	1467	31.00%
110	2.54	1904	19.67%
120	2.26	2436	13.19%
130	1.77	3234	3.12%
140	2.32	4554	1.36%

4.3 고찰

- 프로젝트를 진행하면서 같은 구속조건 및 모터 세팅을 가지고 여러 번 해석을 돌렸을 때 종종 발산하는 경우가 종종 있었다. 즉 해석을 시행할 때마다 결과 값이 달라질 수 있다고 볼 수 있다.
- > 보다 정교한 결과를 얻기 위해서는 여러 번의 해석을 통해 결과값을 얻는다.
- 회전 반경을 최적화 할 때 정지상태에서 출발하여 회전하는 경우를 가정하여 해석했다. 하지만 주행 중 회전하는 경우도 있지만 이를 해석하지 못해 아쉬웠다.

Q & A



Thank you
감사합니다.

