
차 례

학습모듈의 개요	1
학습 1. 로봇 기구 모델링하기	
1-1. 로봇 기구 모델링	3
• 교수·학습 방법	20
• 평가	21
학습 2. 로봇 동작 환경 모델링하기	
2-1. 로봇 동작 환경 모델링	23
• 교수·학습 방법	28
• 평가	29
학습 3. 센서 모델링하기	
3-1. 센서 모델링	31
• 교수·학습 방법	38
• 평가	39
학습 4. 액추에이터 모델링하기	
4-1. 액추에이터 모델링	41
• 교수·학습 방법	49
• 평가	50
학습 5. 통합 시뮬레이션 환경 개발하기	
5-1. 통합 시뮬레이션 환경 개발	52
• 교수·학습 방법	64
• 평가	65
참고 자료	68

로봇 시뮬레이터 개발 학습모듈의 개요

학습모듈의 목표

로봇과 작업 환경을 모델링하여 가상 환경에서 실제 작업을 모사하는 소프트웨어를 개발할 수 있다.

선수학습

로봇 공학, 메카트로닉스, 로봇 시뮬레이션

학습모듈의 내용체계

학습	학습 내용	NCS 능력단위 요소	
		코드번호	요소 명칭
1. 로봇 기구 모델링하기	1-1. 로봇 기구 모델링	1903080313_14v1.1	로봇 기구 모델링하기
2. 로봇 동작 환경 모델링하기	2-1. 로봇 동작 환경 모델링	1903080313_14v1.2	로봇 동작 환경 모델링하기
3. 센서 모델링하기	3-1. 센서 모델링	1903080313_14v1.3	센서 모델링하기
4. 액추에이터 모델링하기	4-1. 액추에이터 모델링	1903080313_14v1.4	액추에이터 모델링하기
5. 통합 시뮬레이션 환경 개발하기	5-1. 통합 시뮬레이션 환경 개발	1903080313_14v1.5	통합 시뮬레이션 환경 개발하기

핵심 용어

로봇 정역학, 로봇 기구학, 로봇 동역학, 로봇 시뮬레이션, 로봇 애니메이션

학습 1 로봇 기구 모델링하기

학습 2	로봇 동작 환경 모델링하기
학습 3	센서 모델링하기
학습 4	액추에이터 모델링하기
학습 5	통합 시뮬레이션 환경 개발하기

1-1. 로봇 기구 모델링

학습 목표

- 로봇을 정역학적, 기구학적, 동역학적 모델링할 수 있다.
- 로봇을 그래픽으로 모델링할 수 있다.
- 로봇의 동작을 애니메이션으로 표현할 수 있다.

필요 지식 /

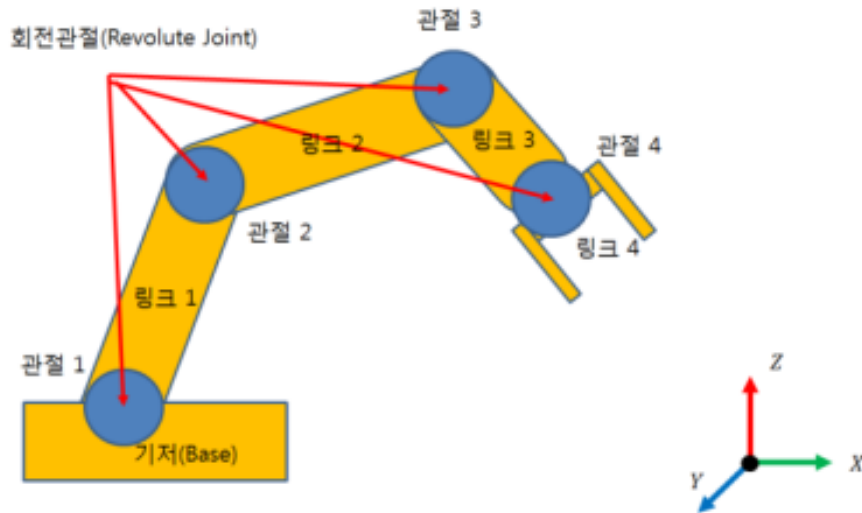
① 로봇 구성

로봇은 사람을 지지하고 있는 뼈와 같은 팔(arm) 또는 링크(link)와, 사람의 각 몸을 연결시켜주는 관절과 같은 관절(joint), 사람의 근육과 같이 로봇의 움직이는 역할을 담당하는 액추에이터(actuator), 여러 정보를 습득하기 위한 센서부(sensor), 사람의 뇌와 같은 제어부(controller)로 구성되어 있다.

본 학습에선 로봇의 팔(arm)의 기구 모델링에 대해서 소개한다. 로봇 팔은 로봇의 작업에 의한 외력에 따라 강도 설계가 되어야 하며, 형상과 재질에 따라 로봇 팔의 무게, 무게중심 및 관성모멘트가 달라진다.

② 로봇 기구학

로봇은 [그림 1-1]과 같이 통상 1개의 자유도를 가진 회전 관절(revolute joint)과 링크의 연결로 이루어져 있다. 하단의 관절이 움직이면서 상단의 링크의 위치와 방위가 변경된다. 관절의 움직임으로 링크의 위치 및 방위를 예측, 또는 링크를 원하는 위치 및 방위로 움직이기 위한 관절의 움직임을 계산하기 위해 로봇의 기구학이 필요하다.



[그림 1-12] 로봇 구조 예

로봇을 기구학적으로 나타내고 계산하기 위해 DH 표시법(denavit-hartenberg notation)를 이용한다. DH 표시를 하기 위해 각 관절에 좌표계를 표현하는데 다음은 이를 표기하는 방법이다.

각 관절의 회전 중심에 법선 방향을 Z축으로 표시하며, 아래와 같이 전 후 Z축 방향에 따라 X축이 정해진다.

- 전 Z축 위치와 현 Z축이 사선형으로 만나지 않을 경우 X축은 두 Z축에 수직이 되는 최단거리 방향으로 한다.
- 전 Z축과 현 Z축이 평행인 경우 두 축에 수직인 X축이 수도 없이 많기 때문에 전 X축과 동일하게 한다.
- 전 Z축과 현 Z축이 만나는 경우 두 축에 수직 방향으로 X축을 한다.

Y축은 정해진 Z축과 X축에 의해 자동적으로 정해진다. 전 관절의 좌표계 X축 기준으로 전후 Z축 간의 회전 각도를 α , 떨어진 거리를 d 으로 나타내며, 전 Z축 기준으로 전후 X축의 회전 각도를 θ , 떨어진 거리를 a 으로 한다.

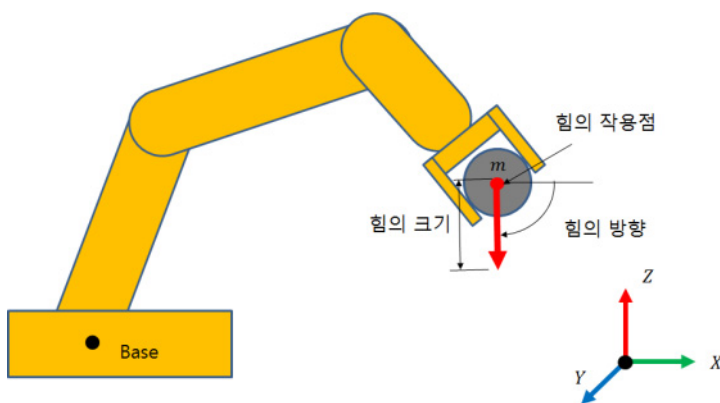
$${}^{i-1}T_i = \begin{bmatrix} \cos \theta_i & -\sin \theta_i & 0 & a_i \\ \sin \theta_i \cos \alpha_i & \cos \theta_i \cos \alpha_i & -\sin \alpha_i & -\sin \alpha_i d_i \\ \sin \theta_i \sin \alpha_i & \cos \theta_i \sin \alpha_i & \cos \alpha_i & \cos \alpha_i d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

③ 로봇 정역학

정역학(statics)은 역학의 기초가 되는 학문으로 힘이 평형 상태인 경우만 다룬다. 힘에 대한 기초 및 외력(external force)과 내력(internal force)을 배우고, 자유물체도(free body diagram)를 그리는 방법을 배우는 학문이다.

1. 힘

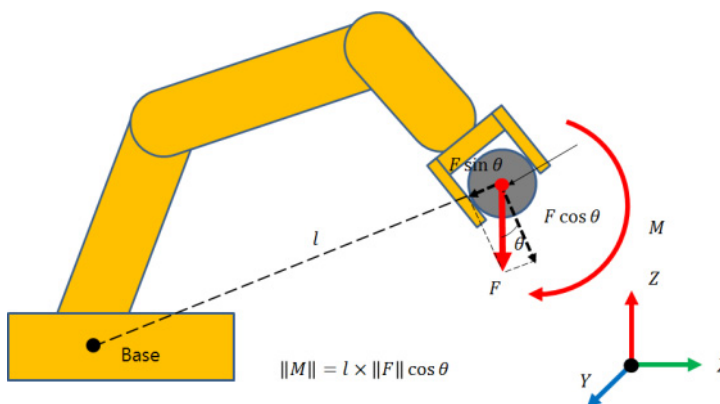
힘이란 물체의 운동 상태에 영향을 끼치는 물리량이다. 힘은 힘이 작용되는 작용점과 힘의 크기, 힘의 방향을 가지며, 이를 도식적으로 나타내면 [그림 1-2]와 같이 화살표로 표현된다.



[그림 1-2] 힘의 표현

2. 모멘트

물체의 중심과는 다른 위치에 힘이 작용되어 회전력을 발생시키는 힘을 뜻하며, 회전의 중심을 모멘트 중심이라 한다. 힘이 작용되는 작용점과 모멘트 중심 간의 거리 및 수직된 힘의 성분의 곱으로 모멘트 크기를 알 수 있다. 모멘트의 크기는 [그림 1-3]과 같이 나타낸다.



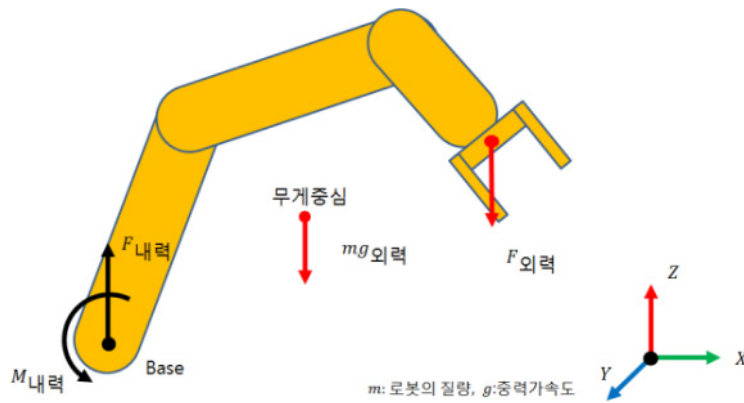
[그림 1-3] 모멘트 크기

3. 외력과 내력

모든 물체에 힘이 작용하고 있으며, 힘이 작용하고 있는 하나의 물체에 대해서 해석을 하기 위해 경계를 구분하며 이 경계를 기준하여 경계 밖에서 생기는 힘을 외력이라 하고, 경계 내에서 발생하는 힘은 내력이라 한다. 뉴턴의 제 3법칙에 따라 내력은 외력과 힘의 크기가 같으며 반대 방향으로 발생한다.

4. 자유물체도

해석하고자 하는 물체에 내력과 외력을 작용점과 크기, 방향, 모멘트 중심, 방향을 [그림 1-4]와 같이 도식적으로 표현하는 것을 자유물체도라고 한다.



[그림 1-4] 자유물체도의 예시

④ 로봇 동역학

로봇이 움직이기 위해선 각 액추에이터에 힘이 필요하다. 이때 필요한 힘을 알아내는 학문이 로봇 동역학이다.

로봇 동역학에서 대표적인 식은 뉴턴-오일러식(newton-euler formulation)과 오일러-라그랑주식(euler-lagrange equation)이다.

뉴턴-오일러식은 뉴턴의 방정식($F = ma$)과 회전하는 물체에 발생하는 모멘트에 대한 오일러 방정식($N = I\dot{\omega} + \omega \times I\omega$, ω : 각속도, I : 관성텐서)을 이용하여 내력과 외력이 평형을 이루기 위한 관절 토크를 계산한다.

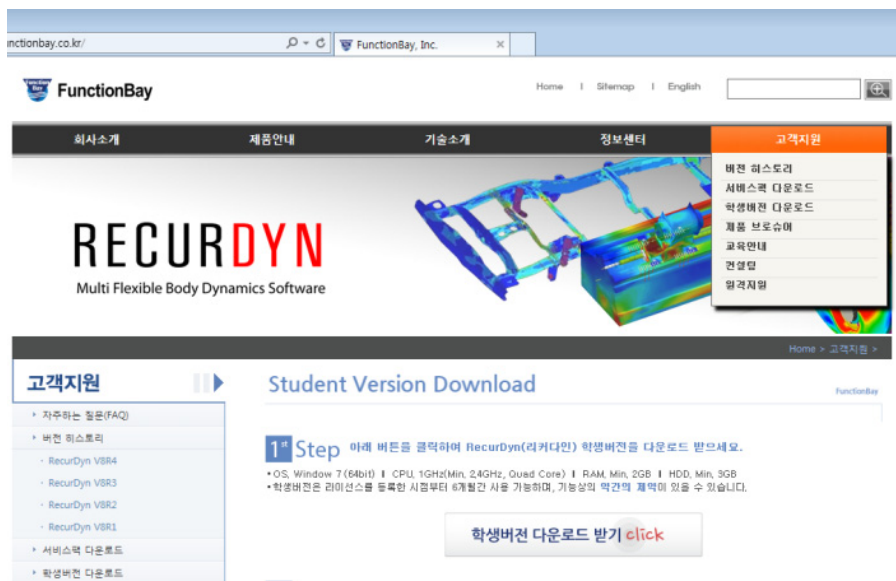
라그랑주식은 에너지 방식으로 운동에너지와 위치에너지를 이용하여 관절 토크를 구한다.

라그랑주: $\mathcal{L} = K - P$ (K : 운동에너지, P : 위치에너지)

$$\text{관절 토크: } \tau = \frac{d}{dt} \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \dot{\theta}} - \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \theta}$$

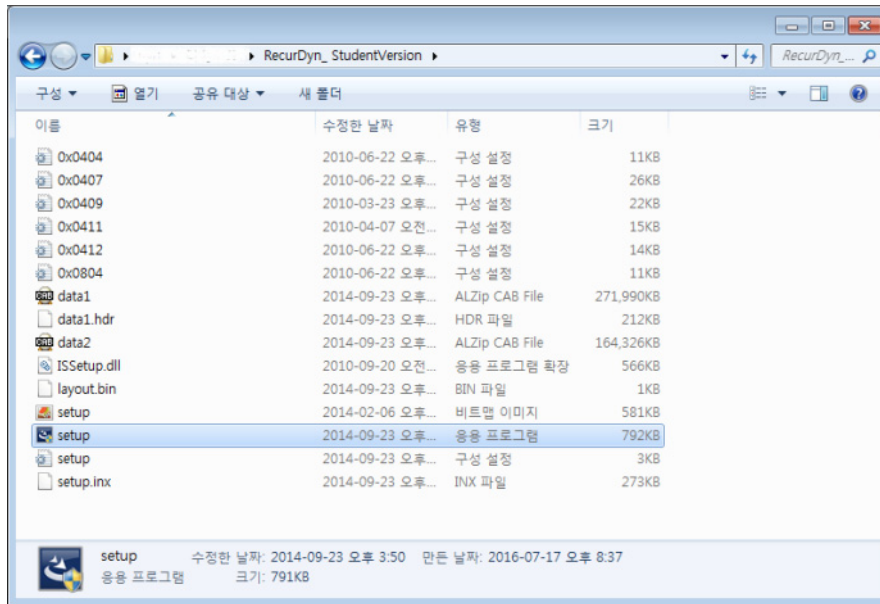
⑤ 로봇 시뮬레이션

로봇을 시뮬레이션 하기 위해선 다물체 동역학 해석 툴이 필요하다. 국외 MSC사의 ADAMS, 국내 Virtual Motion사의 DAFUL, FunctionBay사의 RECURDYN 등 많은 업체에서 다물체 동역학 해석 툴을 개발하고 있다. 본 학습에선 교육 목적으로 학생 버전 라이선스를 6개월간 무료로 제공해주는 [그림 1-5]에서 보는 바와 같이 FunctionBay사의 RECURDYN를 사용하였다.

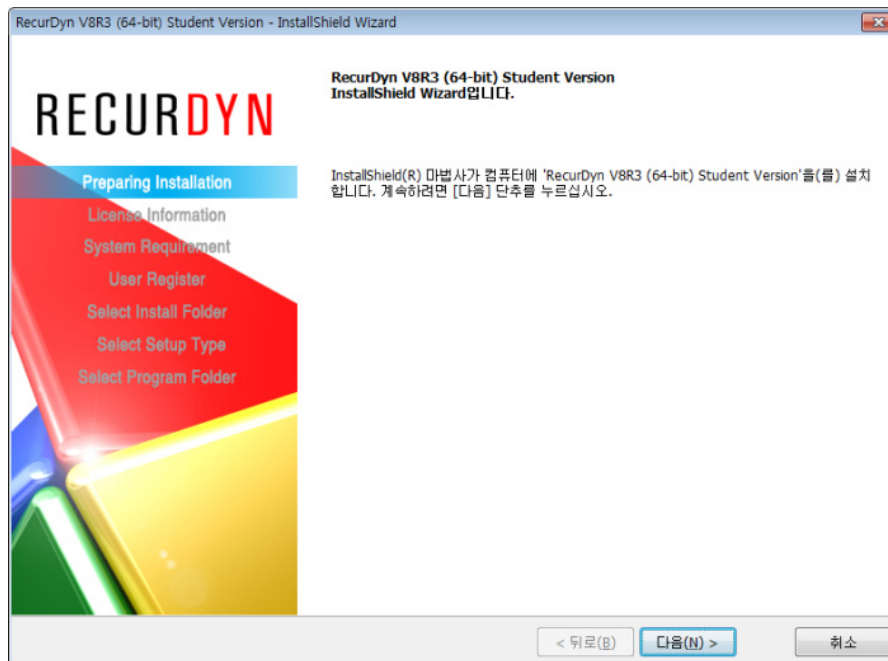


[그림 1-5] FunctionBay사의 RECURDYN 홈페이지

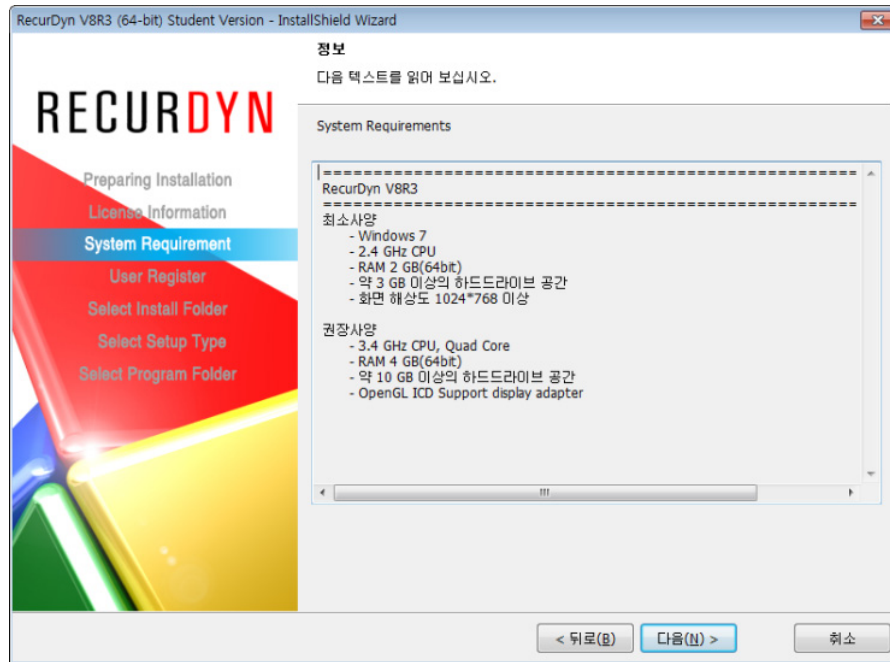
FunctionBay 홈페이지(<http://www.functionbay.co.kr/>)에 접속하여 고객 지원 → 학생 버전 다운에 들어가면 학생 버전의 RECURDYN를 다운 받을 수 있으며, 라이선스 신청서에 사용하고자 하는 PC의 랜카드 MAC address 및 학교, 이메일 등을 작성하여 신청하면 이메일로 라이선스 인증 파일을 받을 수 있다. 다운로드가 완료되면 압축 파일을 풀고 setup 파일을 실행하면 설치가 된다. 설치가 완료되면 자동으로 라이선스 입력을 요청하게 되며, 이때 이메일로 받은 라이선스 파일을 입력하면 라이선스 인증이 완료가 되고, 바탕화면에 자동적으로 RecurDyn 파일이 설치되며 이를 실행시키면 RecurDyn이 실행된다 ([그림 1-6]에서 [그림 1-10] 참조).



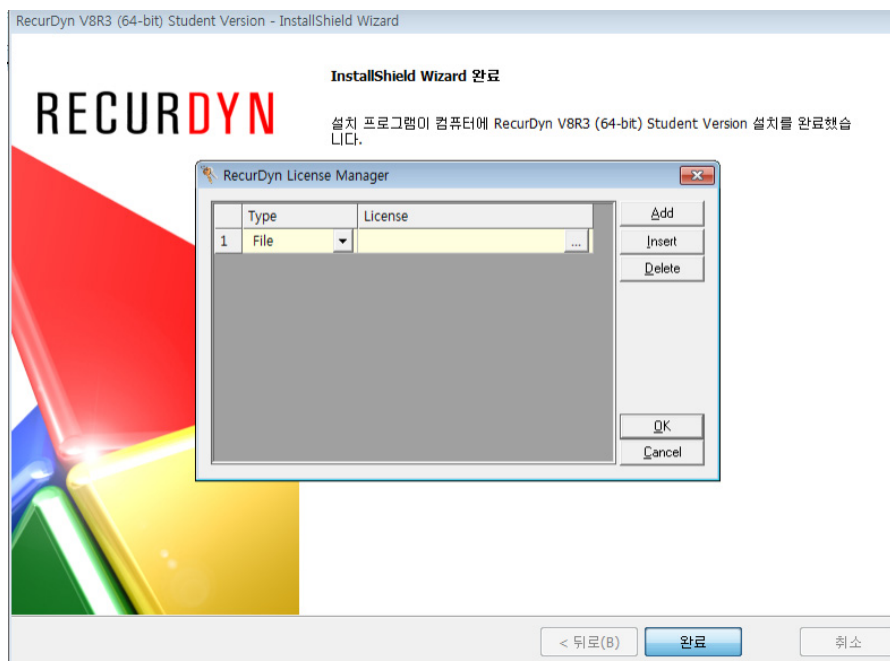
[그림 1-6] RecurDyn 학생버전 다운파일



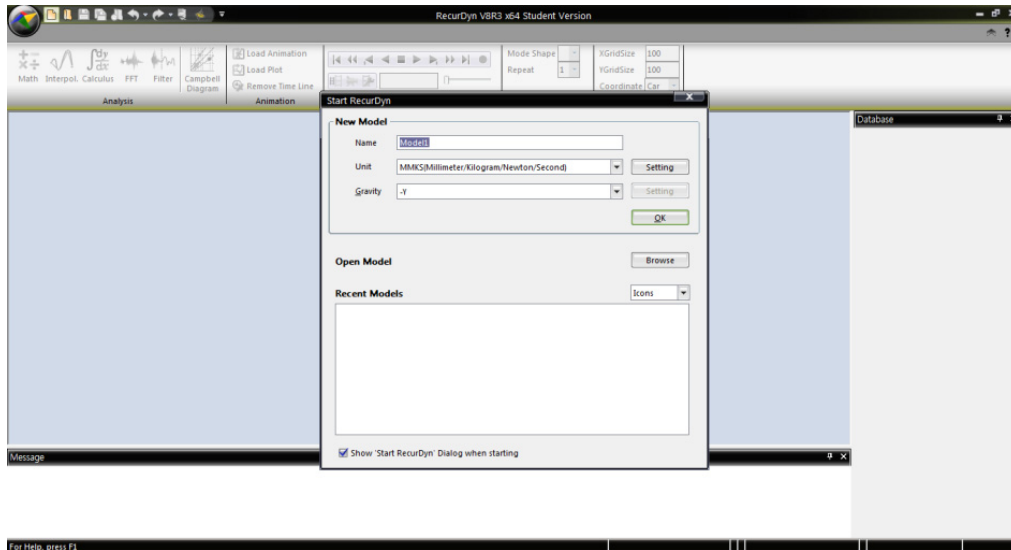
[그림 1-7] RecurDyn 학생버전 설치



[그림 1-8] RecurDyn 학생버전 PC 사양



[그림 1-9] RecurDyn 학생버전 라이선스 입력 요청창



[그림 1-10] RecurDyn 학생버전 실행

수행 내용 1 / 정역학적, 기구학적, 동역학적 로봇 모델링하기

재료 · 자료

- 센서 데이터 시트
- 로봇에 대한 사용자 요구사항서

기기(장비 · 도구)

- 컴퓨터, 인터넷, 프린터
- 행렬 계산이 가능한 소프트웨어

안전 · 유의 사항

- 해당 사항 없음

수행 순서

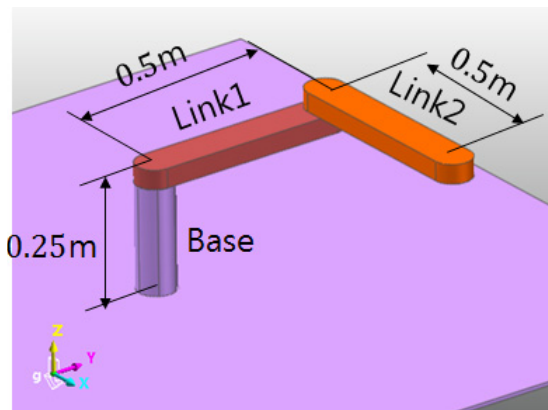
① 2 Link 로봇 DH 파라미터를 설정한다.

1. [그림 1-11]와 같은 2링크 로봇에서 [그림 1-12]와 같이 로봇의 관절을 찾고 회전 중심 부의 법선 방향으로 Z축을 설정한다.

기구학적으로 기준 좌표계에서 본 각 관절의 위치 및 방향을 보기 때문에 이를 고려하여 기준 좌표계 위치를 선정한다.



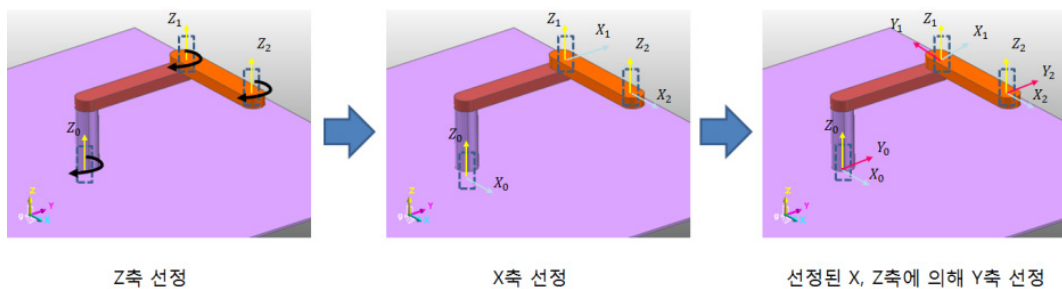
출처: TOSHIBA MACHINE (<http://www.toshiba-machine.co.jp/en/>). 2016. 10. 03. 스크린샷.
[그림 1-11] 2Link Robot의 예(Toshiba사 SCARA robot)



[그림 1-12] 2-Link 구조 및 Link 길이

2. DH표기법에 따라 [그림 1-13]과 같이 Z축 간의 관계를 통해 X축 방향을 선정한다.

기구학적으로 기준 좌표계 본 각 관절의 위치 및 방향을 보기 때문에 이를 고려하여 기준 좌표계 위치를 선정한다. 위와 같은 경우 Z_0 축을 Link가 아닌 Base 밑에 선정한 이유는 각 관절의 위치 및 방향을 지면에서 보기 위함이다.



[그림 1-13] 2-Link 로봇의 좌표계 선정 순서

3. 선정된 좌표계를 이용하여 [그림 1-14]와 같이 DH 파라미터를 작성한다.

좌표계는 오른손 법칙이라고 하여 엄지를 위로 세우고, 검지를 앞으로, 중지를 90도 구부리면 엄지가 Z축의 +방향, 검지가 X축 +방향, 중지가 Y축 +방향이 되며, 회전 방향은 엄지를 Z축 +방향으로 하고 나머지 손가락들이 접히는 방향을 + 회전 방향으로 한다.

Z축 기준의 X축 간의 각도에서 각 θ 들이 의미하는 것은 Z축 기준으로 회전하는 관절이기 때문에 회전 했을 경우 변하는 각도를 의미한다.

i	α_i	a_i	θ_i	d_i
1	0°	0.25	$\theta_1 - 90^\circ$	0.5
2	0°	0	$\theta_2 - 90^\circ$	0.5

[그림 1-14] 2-Link 로봇의 DH 파라미터

② 정해진 DH 파라미터로 끝단의 좌표값을 구한다.

아래의 식을 이용하여 p_x, p_y, p_z 를 구하면 0에서 2를 본 위치 값을 구할 수 있다.

$${}^{i-1}_iT = \begin{bmatrix} \cos \theta_i & -\sin \theta_i & 0 & a_i \\ \sin \theta_i \cos \alpha_i & \cos \theta_i \cos \alpha_i & -\sin \alpha_i & -\sin \alpha_i d_i \\ \sin \theta_i \sin \alpha_i & \cos \theta_i \sin \alpha_i & \cos \alpha_i & \cos \alpha_i d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^0_2T = {}^0_1T {}^1_2T = \begin{bmatrix} n_x & v_x & \delta_x & p_x \\ n_y & v_y & \delta_y & p_y \\ n_z & v_z & \delta_z & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

③ 각 관절에 걸리는 토크 방정식을 구한다.

뉴턴-오일러 방식을 이용한다. 관절 토크는 Link가 가속도를 가지며, 이때 발생하는 관성 모멘트를 발생시킨다. 그러므로 관절 토크는 Link에 발생하는 가속도에 의해 생기는 모멘트와 회전에 의해 생기는 관성모멘트와 평형을 이룬다.

$$\tau = p_c F + N = p_c \times m \dot{v}_c + I \dot{\omega} + \omega \times I \omega$$

(τ : 관절 토크, p_c : 링크의 무게중심, \dot{v}_c : 무게중심 가속도)

각 관절에 걸리는 모멘트를 계산하기 전 모멘트를 발생시키는 각속도 ω 와 선속도 v_c 를 아래 관절 순으로 계산한다.

$$\omega_1 = \dot{\theta}_1, \quad \omega_2 = \dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_2$$

$$v_{c1} = p_{c1} \times \omega_1, \quad v_{c2} = v_{c1} + p_{c2} \times \dot{\theta}_2$$

(θ_1, θ_2 : 각 관절의 각도, p_{c1}, p_{c2} : 각 링크의 무게중심 거리)

계산된 각 관절 각속도 ω 와 선속도 v_c 를 이용하여 끝단 관절 토크 순으로 계산한다.

$$\tau_2 = p_{c2} \times F_2 + N_2 = p_{c2} \times m_2 \dot{v}_{c2} + I_2 \dot{\omega}_2 + \omega_2 \times I_2 \omega_2$$

$$\begin{aligned} \tau_1 = p_{c1} \times F_1 - p_1 \times F_2 + N_1 - N_2 = p_{c1} \times m_1 \dot{v}_{c1} - p_1 \times m_2 \dot{v}_{c2} + I_1 \dot{\omega}_1 + \omega_1 \times I_1 \omega_1 \\ - I_2 \dot{\omega}_2 + \omega_2 \times I_2 \omega_2 \end{aligned}$$

수행 내용 2 / 그래픽적 로봇 모델링하기

재료 · 자료

- 센서 데이터 시트
- 로봇에 대한 사용자 요구사항서
- 리커다인 매뉴얼

기기(장비 · 공구)

- 컴퓨터, 인터넷, 프린터
- 동역학 시뮬레이터(리커다인)

안전 · 유의 사항

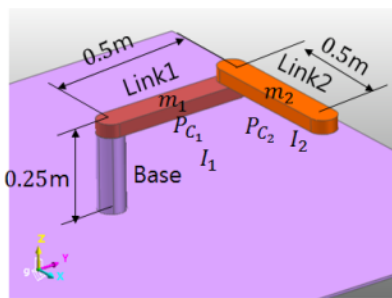
- 해당 사항 없음

수행 순서

① 그래픽적으로 모델링할 로봇에 대해서 파악한다.

1. [그림 1-15]와 같이 관절의 구성 및 Link 단위에 대해서 확인한다.
2. 모델링할 순서를 구상한다.

Ground(Base) 생성 → Link 생성 → Link 파라미터 매칭 → 관절 생성



[그림 1-15] 2-Link 구조 및 파라미터

Link weight

$$m_1 = 5kg, m_2 = 5kg$$

Center of gravity] (단위: m)

$$P_{C1} = \begin{bmatrix} x_{c1} \\ y_{c1} \\ z_{c1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0.25 \\ 0.3 \end{bmatrix}, P_{C2} = \begin{bmatrix} x_{c2} \\ y_{c2} \\ z_{c2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.25 \\ 0.5 \\ 0.35 \end{bmatrix}$$

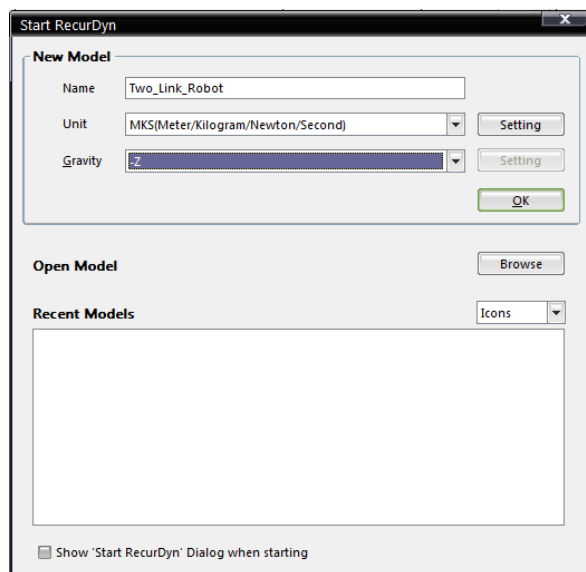
(단위: kg/m²)

$$I_1 = \begin{bmatrix} I_{xx1} & I_{xy1} & I_{xz1} \\ I_{xy1} & I_{yy1} & I_{yz1} \\ I_{xz1} & I_{yz1} & I_{zz1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.220 & 0 & 0 \\ 0 & 0.008 & 0 \\ 0 & 0 & 0.225 \end{bmatrix}$$

$$I_2 = \begin{bmatrix} I_{xx2} & I_{xy2} & I_{xz2} \\ I_{xy2} & I_{yy2} & I_{yz2} \\ I_{xz2} & I_{yz2} & I_{zz2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.008 & 0 & 0 \\ 0 & 0.220 & 0 \\ 0 & 0 & 0.225 \end{bmatrix}$$

② 리커다인을 실행한다.

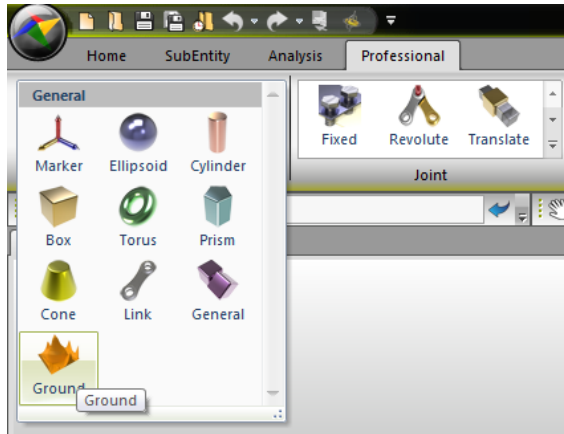
1. 리커다인을 제일 먼저 실행 시키면 [그림 1-16]과 같은 New Model 설정 창이 나온다.
2. Name은 Two_Link_Robot, Unit(단위계)는 미터, 킬로그램, 뉴턴, 초(MKS)로 하며, 중력 방향은 -Z으로 한다.



[그림 1-16] 리커다인 새 파일 생성 시 환경 설정

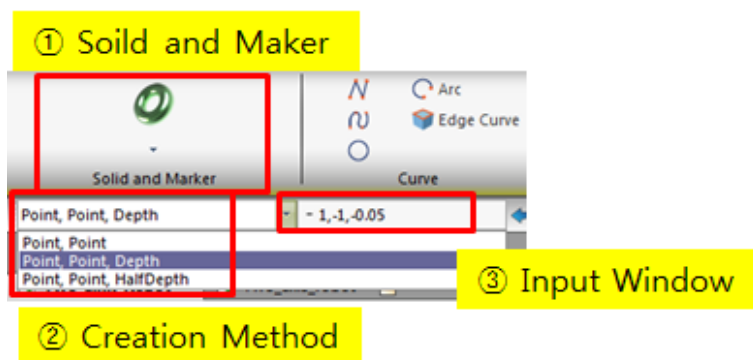
③ Ground를 생성한다.

1. 시뮬레이터의 기본이 되는 Ground를 제일 먼저 모델링해야 한다.
2. [그림 1-17]과 같이 Professional탭 → Body탭 → Ground 선택하여 Ground Edit 모드에 진입한다.



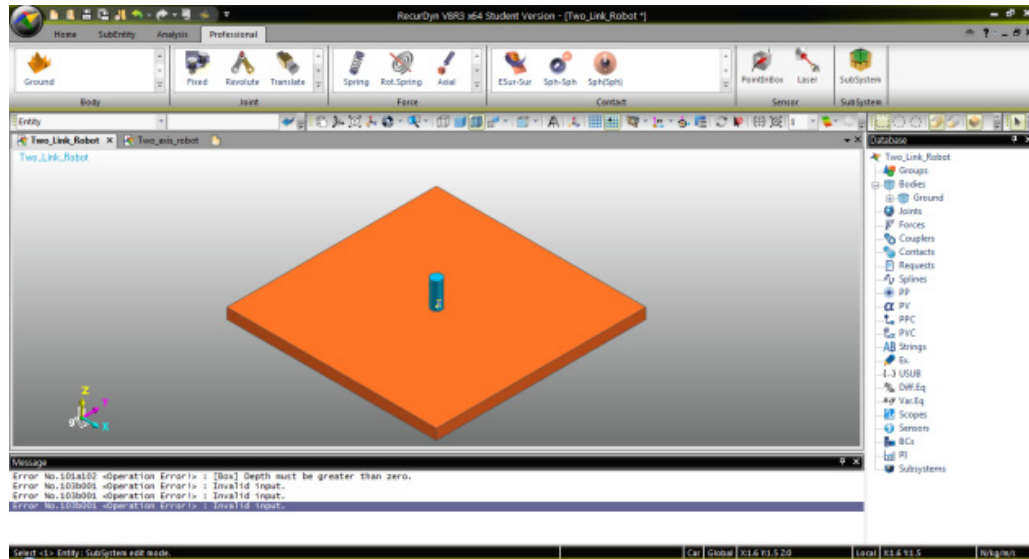
[그림 1-17] Ground 선택

3. [그림 1-18]과 같이 Solid and Maker 탭에서 Box를 클릭한 후 Creation Method를 Point, Point, Depth로 변경한다.
4. Input Window에서 (-1, -1, -0.05), (1, 1, -0.05), 0.1 순으로 입력한다.



[그림 1-18] 탭 위치 및 입력 순서

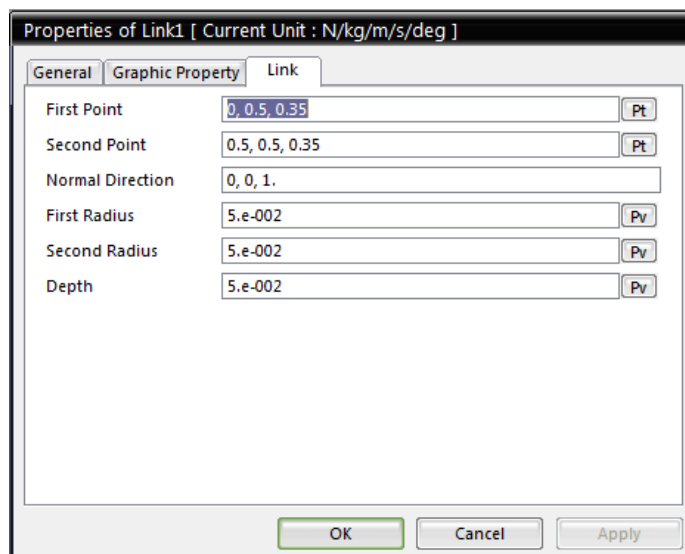
5. Solid and Maker 탭에서 Cylinder를 클릭한 후 Creation Method를 Point, Point, Radius로 변경한다.
6. Input Window에서 (0, 0, 0), (0, 0, 0.275), 0.05 순으로 입력한다.
7. Exit 탭에서 Exit를 클릭하여 Ground Edit 모드를 벗어난다. [그림 1-19]는 최종 생성된 Ground를 보여주고 있다.



[그림 1-19] 최종 생성된 Ground

④ Link를 생성한다.

1. Body탭에서 Link를 클릭 후 Creation Method를 Point, Point, depth로 변경한다.
2. Input Window에서 (0, 0, 0.3), (0, 0.5, 0.3), 0.05 순으로 입력한다.
3. 생성된 Body를 더블클릭 하거나 Database에서 Body1를 선택 후 마우스 오른쪽 버튼 클릭 후 Edit를 클릭하여 Body Edit 모드에 진입한다.
4. Body를 선택 후 마우스 오른쪽 버튼을 눌러 Properties를 선택한다.
5. First Radius와 Second Radius를 0.05로 변경 후 Body edit 모드를 벗어난다.
6. Link를 위와 같은 방식으로 [그림 1-20]과 같이 생성한다.



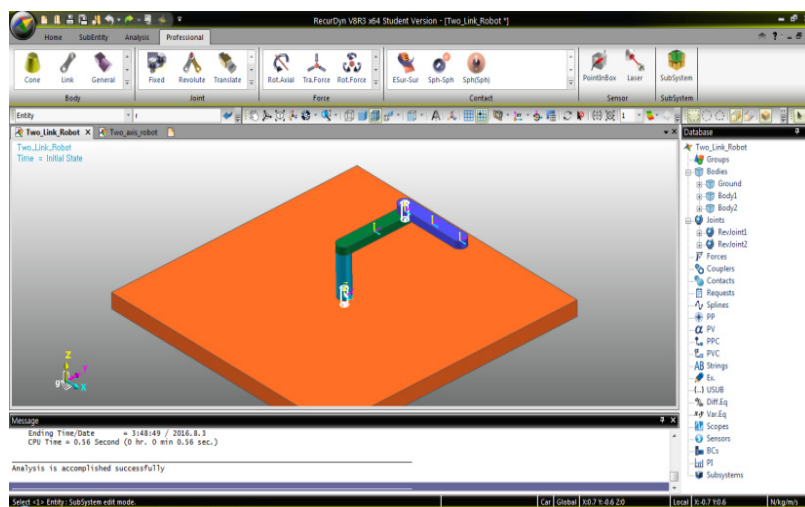
[그림 1-20] 2번째 Link Properties

⑤ Link 파라미터를 수정한다.

1. 생성된 Link 2개에 대해서 파라미터 수정을 하도록 한다.
2. 첫 번째 생성한 Link를 선택 후 마우스 오른쪽 버튼을 클릭하여 Properties를 선택한다.
3. Body탭에서 Material Input Type를 User Input으로 변경한 후 질량 및 모멘트를 변경한다.
이때 Material Input Type에서 기본 제공해주는 Library의 물성치를 이용하여 형상에 따른 관성텐서, 무게, 무게중심을 알 수 있다.
4. 두 번째 생성한 Link도 파라미터를 변경한다.

⑥ 관절을 생성한다.

1. Joint탭에서 Revolute를 선택한 후 Creation Method를 Body, Body, Point, Direction로 변경한다.
2. Input Window에서 Ground 클릭, Body1 클릭, (0, 0, 0), (0, 0, 1) 순으로 입력한다.
3. Joint탭에서 Revolute를 선택한 후 Creation Method를 선택한 후 Input Window에서 Body1 클릭, Body2 클릭, (0, 0.5, 0.325), (0, 0, 1) 순으로 입력한다. [그림 1-21]은 2링크 로봇의 모델링을 완성한 모습이다.



[그림 1-21] 2Link Robot 모델링 완성

수행 tip

- 관절 생성 시 관절의 좌표계가 회전된 형태로 생성될 수 있다. 이때 관절의 Properties에 들어가 connector에서 Euler 각도를 이용하여 DH 표기와 같은 좌표계 방향으로 수정해 주는 것이 좋다.
- 관절 생성 시 첫 번째 선택한 Body가 Base, 두 번째 선택한 것이 Action으로 선택된다. 이를 거꾸로 선택 시 반대 방향으로 결과 값이 나오게 되니 주의한다.

수행 내용 3 / 로봇 애니메이션하기

재료 · 자료

- 센서 데이터 시트
- 로봇에 대한 사용자 요구사항서
- 리커다인 매뉴얼
- 수행 내용 2의 모델링 Two_Link_Robot 파일

기기(장비 · 공구)

- 컴퓨터, 인터넷, 프린터
- 동역학 시뮬레이터(리커다인)

안전 · 유의 사항

- 해당 사항 없음

수행 순서

- ① 2 Link Robot의 애니메이션 동작 계획을 수립한다.
각 관절 움직일 궤적을 고려한다.

$$\theta_1 = \frac{\pi}{3} \times \sin(\pi \times time), \quad \theta_2 = -\frac{\pi}{3} \times \sin(\pi \times time)$$

- ② 관절에 Motion을 넣는다.

1. Database에서 첫 번째 Joint 더블클릭, Include Motion 선택, Motion 버튼 선택
2. Expression에서 EL버튼 선택, Create 선택
3. Name 아래 칸에 궤적 입력

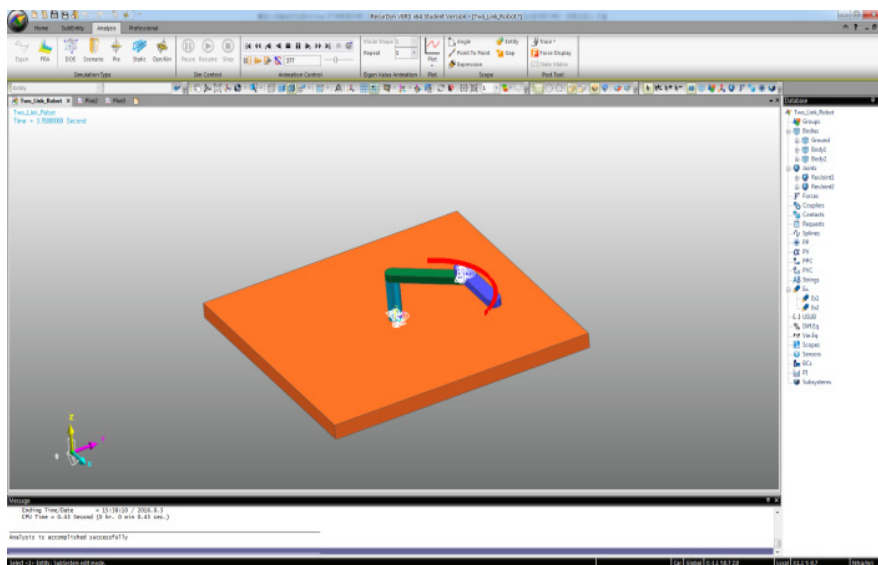
$$\theta_1 = \frac{\pi}{3} \times \sin(\pi \times time) \Rightarrow \pi/3 * \sin(\pi * time)$$

4. 두 번째 관절에도 같은 방법으로 아래 식 입력

$$\theta_1 = -\frac{\pi}{3} \times \sin(\pi \times time) \Rightarrow -\pi/3 * \sin(\pi * time)$$

③ Dynamic/Kinematic Analysis를 수행한다.

1. Analysis 탭에서 Dyn/Kin 선택
2. End Time 10초, Step 100개 후 Simulate 클릭
3. End Time 10초, Step 100개 후 Simulate 클릭
4. Simulate 완료 후 Animation Control 탭 활성화되어 재생 버튼을 누르면 [그림 1-22]와 같은 로봇의 움직임을 볼 수 있다.



[그림 1-22] 로봇의 움직이는 형상

수행 tip

- Post Tool에서 Trace-> Marker Trace를 이용하여 로봇에 있는 좌표계의 움직이는 위치를 누적하여 시각적으로 볼 수 있다.

학습 1	로봇 기구 모델링하기
학습 2	로봇 동작 환경 모델링하기
학습 3	센서 모델링하기
학습 4	액추에이터 모델링하기
학습 5	통합 시뮬레이션 환경 개발하기

2-1. 로봇 동작 환경 모델링

학습 목표

- 작업 환경 및 주변 장치를 물리적으로 모델링할 수 있다.
- 작업 환경 및 주변 장치를 그래픽 데이터로 모델링할 수 있다.
- 작업 환경 및 주변 장치의 물리적 현상을 애니메이션으로 표현할 수 있다.

필요 지식 /

① 로봇 작업 환경 및 주변 장치

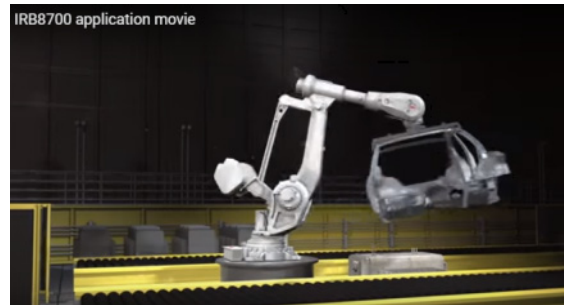
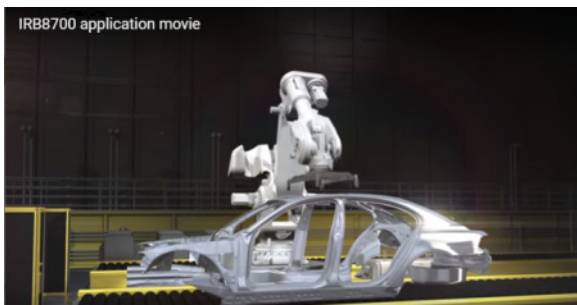
[그림 2-1]과 같이 로봇이 산업 현장에서 작업하기 위해선 다양한 작업용 지그와 그에 따른 시스템이 부수적으로 필요하며, 공정을 이어주는 컨베이어 벨트이나 다른 산업용 장비들과 함께 로봇이 작업하게 된다.

작업용 지그로는 스폿용접 건, 아크용접용 토오치, 도장용 건, 그리퍼, 진공 패드 등 다양하며, 그에 따라 [그림 2-2]와 같은 지그 제어기 및 파워 등 별도의 시스템이 추가가 된다. 이러한 지그가 추가되면 로봇 링크의 무게 및 관성모멘트 값이 변경되며, 지그의 작업에 따른 힘이 로봇에 전달되어 이를 보상하는 제어가 필요하다.

또 로봇이 작업할 때 함께 작업이 되는 컨베이어 벨트이나 다른 산업용 장비들과 함께 작업을 하는 경우 동기화를 하여 작업을 해야 한다.



출처: ABB(<http://new.abb.com/products/robotics>). 2016. 10. 03. 스크린샷.
[그림 2-1] 산업현장 내 로봇 작업 환경 예



출처: ABB(<http://new.abb.com/products/robotics>). 2016. 10. 03. 스크린샷.
[그림 2-2] 산업용 로봇 지그 예

수행 내용 / 작업 환경 및 주변 장치 애니메이션하기

재료 · 자료

- 센서 데이터 시트
- 로봇에 대한 사용자 요구사항서
- 리커다인 매뉴얼

기기(장비 · 공구)

- 컴퓨터, 인터넷, 프린터
- 동역학 시뮬레이터(리커다인)

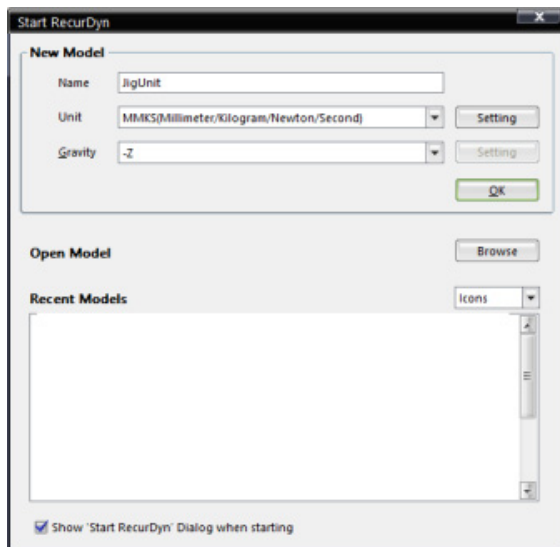
안전 · 유의 사항

- 해당 사항 없음

수행 순서

① 지그 장치를 모델링한다.

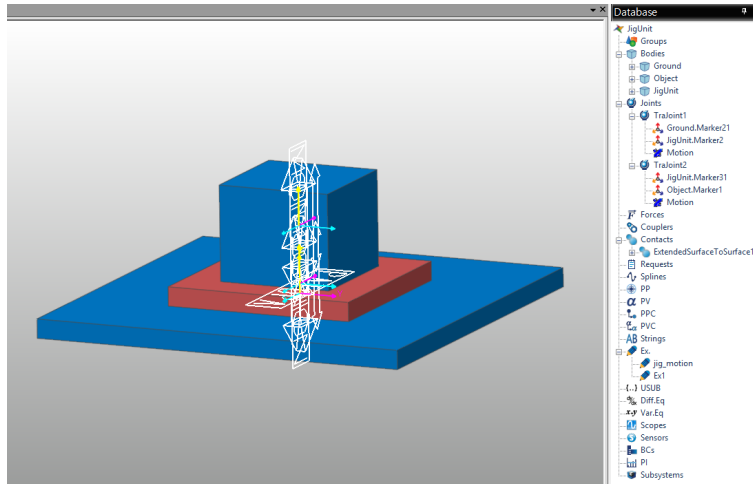
1. [그림 2-3]과 같이 Name는 JigUnit, Unit는 mm/kg/N/S, Gravity는 -Z으로 선택 후 OK 버튼을 누른다.



[그림 2-3] 환경 설정 탭

2. Body탭에서 Ground를 선택한다.
3. Box를 선택 후 (100, 100, 0), (-100, -100, -10)를 선택 후 Ground 편집 창에서 Exit한다.
4. Box를 선택 후 (50, 50, 0), (-50, -50, 10) 입력하고 다시 Box를 선택하여 (30, 30, 10), (-30, -30, 60)를 입력한다.
5. Database 창에서 생성된 Ground, Body1, Body2를 확인 할 수 있으며, Body1과 Body2는 각각 마우스 우측 클릭하여 Rename으로 Object, JigUnit로 각각 변경한다.
6. Contact 탭에서 ESur-Sur를 선택 후 Creation Method에서(Surface, Solid(shell))를 선택 후 Ground Box 상단면 선택, Object를 전체 선택한다.

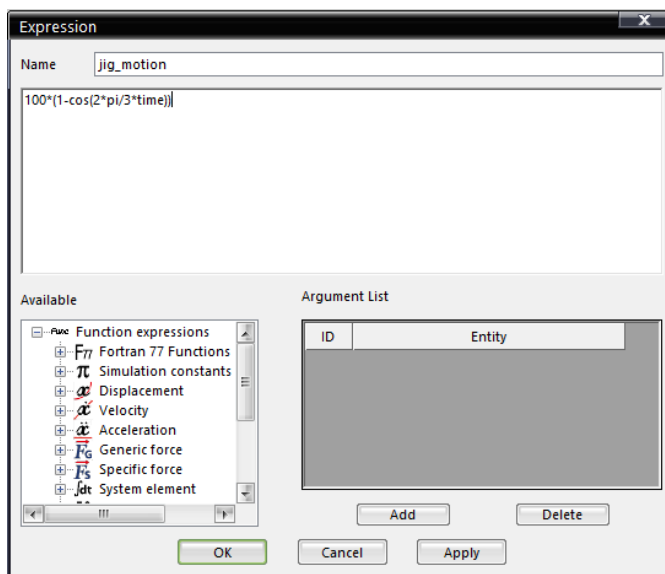
7. Joint 탭에서 Translate를 선택 후 Creation Method에서 (Body, Body, Point, Direction)를 선택 후 Ground, JigUnit 선택, Point으로 JigUnit의 CM 좌표계를 선택, (0, 0, 1)을 입력한다.
8. 다시 Joint 탭에서 Translate를 선택 후 Creation Method에서(Body, Body, Point, Direction)를 선택 후 JigUnit, Object 선택, Point으로 Object의 CM 좌표계를 선택, (0, 0, 1)을 입력한다.
9. [그림 2-4]는 최종 생성된 모델링을 나타낸다.



[그림 2-4] 생성된 모델링

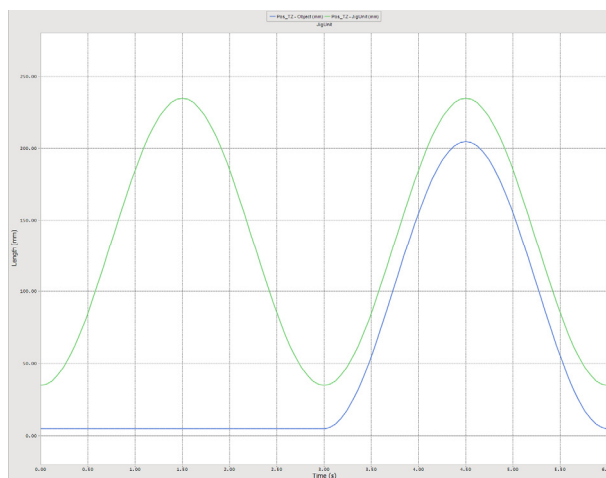
② 지그 장치를 애니메이션한다.

1. TraJoint1의 Property창에서 Include Motion를 선택 후 Motion 창에서 Displacement(time)으로 선택한다.
2. [그림 2-5]와 같은 Expression에서 EL를 누른 후 Create를 선택하여 Name는 Jig_motion, 명령창에는 $100 \cdot (1 - \cos(2 \cdot \pi / 3 \cdot \text{time}))$ 를 입력하고 OK를 누른다.



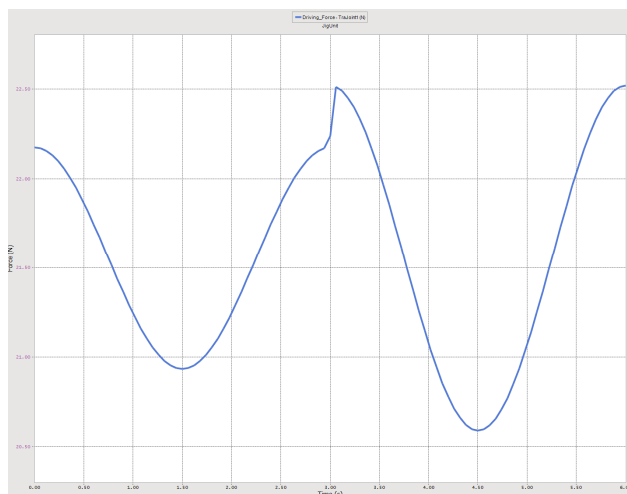
[그림 2-5] Expression 창

3. TraJoint2의 Property창에서 Include Motion를 선택 후 Motion 창에서 Displacement(time)으로 선택한다.
4. Expression에서 EL를 누른 후 Create를 선택하여 Name는 Object_motion, 명령창에는 $\text{IF}(\text{time}-3:-100*(1-\cos(2*\pi/3*\text{time})), -100*(1-\cos(2*\pi/3*\text{time})), 0)$ 를 입력하고 OK를 누른다.
5. Analysis 탭에서 Dyn/Kin를 선택 후 End Time 6초를 입력하고 시뮬레이션을 실행한다.
6. Animation Control에서 재생 버튼을 눌러 애니메이션을 볼 수 있다.
7. Plot를 선택하여 Bodies에서 Object의 Pos_TZ, JinUnit의 Pos_TZ를 선택하여 [그림 2-6]과 같은 궤적을 확인한다.



[그림 2-6] JigUnit & Object Pos_TZ 그래프

8. Page에서 Add를 선택하고 Joints에서 Trajoint1에 Driving_Force를 선택한다. [그림 2-7]은 Driving Force의 궤적을 나타낸다.



[그림 2-7] Driving Force 그래프

학습 1	로봇 기구 모델링하기
학습 2	로봇 동작 환경 모델링하기
학습 3	센서 모델링하기
학습 4	액추에이터 모델링하기
학습 5	통합 시뮬레이션 환경 개발하기

3-1. 센서 모델링

학습 목표

- 센서의 감지 특성을 나타내는 정보를 물리적인 데이터로 모델링할 수 있다.
- 모델링된 물리적인 데이터를 그래픽으로 표현할 수 있다.
- 시간에 따라 변화하는 감지된 물리량을 애니메이션으로 표현할 수 있다.

필요 지식 /

① 센서

센서는 위치, 힘, 토크, 압력, 온도, 습도, 속도, 가속도, 진동과 같은 물리량을 계측하기 위해 사용된다.

로봇에서 센서의 역할은 자신의 위치, 주변 환경을 파악하고 주어진 작업의 보조하고 완성도를 판단하는 것이다.

센서의 종류에 따라 기능과 신호를 받는 방법이 다양하여 적용이 가능하며 원하는 목적에 맞는 센서를 선정하는 것이 중요하다. 센서를 선정하기 위해 센서 성능의 의미를 알아야 한다. 측정하고자 하는 물리 특성에 따라 성능도 다양하지만 공통적인 성능의 의미는 아래와 같다.

1. 검출 범위

센서가 측정하는 물리량의 최소/최대 측정 범위를 나타낸다. 로봇의 환경에 맞는 범위 내로 선정해야 하며, 검출 범위가 클수록 분해능이 커져 정밀한 계측이 되지 못한다. 또 검출 범위를 벗어난 경우 측정이 불가능하므로 검출 범위를 알맞게 설정하는 것이 중요하다.

2. 입력/출력

입력은 센서가 물리량을 측정하기 위한 전원을 제공받기 위한 입력의 형태(DC 5V, DC 12V, AC 220V 등...)를 나타내며, 출력은 측정된 데이터를 전달하기 위해 센서에서 나오는

출력 방식으로 아날로그, 디지털, RS232 등 기타 통신 방법을 나타낸다. 로봇 시스템의 최초 설계 시, 센서를 선정할 때에는 센서의 입력을 제공할 수 있는 파워서플라이와 출력을 계측할 수 있는 계측기까지 같이 선정해야 하며, 기존 로봇 시스템에서 추가할 경우 현재 제공 가능한 입력값과 계측할 수 출력 타입에 맞는 센서를 선정해야 한다. 그러지 못할 경우 센서 외에 추가해야 하는 장비까지 고려해야 한다.

3. 분해능

센서가 측정할 수 있는 검출 범위 내에서 얼마나 정밀하게 측정할 수 있는지를 나타낸다. 분해능이 높은 것은 센서가 변화에 대해 민감한 것으로 센서를 이용한 작업이 더 정밀하게 될 수 있지만 그만큼 센서의 비용이 높아지기 때문에 작업의 정밀도에 따라 알맞은 센서의 분해능을 선정해야 한다.

4. 정도

참값과의 오차 정도와 반복 측정하였을 때 반복 정밀도를 나타낸다. 정도에 따라 센서의 신뢰도, 로봇의 작업 신뢰도가 정해진다. 작업 신뢰도에 맞는 정도값을 가진 센서를 선정해야 한다.

5. 응답 속도

센서의 측정 속도를 뜻하며, 주기(ms)나 주파수(Hz)으로 표현한다. 응답 속도가 빠를수록 좋으나 가격이 비싸지기 때문에 적절한 응답 속도의 센서를 선정해야 한다. 이때 전체 시스템의 응답 속도보다 센서의 응답 속도가 빨라야 센서 데이터를 시스템에 잘 적용하여 사용할 수 있다.

6. 내환경성

센서의 성능(검출 범위, 분해능, 정도 등)을 떨어뜨리지 않고 측정 가능한 주변 환경을 뜻하며, 주변 환경에는 온도, 습도, 분진, 진동 등이 있다. 로봇의 작업 환경에 맞는 내환경성을 가진 센서를 선정해야 한다.

② 센서 원리

측정하고자 하는 물리량에 대해서 무수히 많은 센서들이 있다. 같은 물리량을 측정하더라도 센서의 특성에 따라 측정하는 방식이 다르고 그에 따라 정도, 분해능, 내환경성 등이 달라진다. 그렇기 때문에 사용하는 센서의 원리에 대해서 알아둘 필요가 있다. 다음은 산업용 로봇에서 가장 많이 사용되는 엔코더, 초음파 센서, 힘센서에 대해서 설명이다.

1. 엔코더

산업용 로봇은 각 관절이 회전 모터로 구성되어 있어 각 관절의 위치 및 제어를 하기 위해 [그림 3-1]과 같은 엔코더를 이용한다. 엔코더는 광학식과 자기식이 있다. 광학식은 내부 회전 디스크에 빛이 들어오는 미세한 홀이 있어 회전을 하면서 홀을 통해 들어오는 빛

의 속도 및 횟수를 이용하여 각도 및 회전 속도를 측정하며, 자기식은 회전축에는 자석, 고정축에는 홀센서가 있어 회전하는 자석에 의한 자속 변화를 계측하여 회전량 및 회전 속도를 측정한다. 광학식은 내부 회전 디스크가 유리로 되어 있어 충격이나 진동에 약하나, 자기식은 충격과 진동에 강하다. 하지만 자기식은 자성을 띤 잔해물이 엔코더 내부에 유입되면 성능 저하가 되는 단점이 있다.

상의 개수에 따라 엔코더의 종류가 절대값 엔코더, 상대위치 엔코더로 나뉜다. 상대위치 엔코더는 90위상차가 나는 A, B상이 측정되며 A, B상의 순서에 따라 정방향과 역방향을 구별하고 각 상의 속도 및 횟수로 각도를 측정한다. 절대값 엔코더는 Z상이 하나 더 있어 상대위치 엔코더는 전원을 차단했다가 다시 켜면 현재 자세 정보를 모르나 절대값 엔코더는 Z상을 통해 전원이 차단하였더라도 다시 켜면 현재 위치 정보를 알 수 있다.



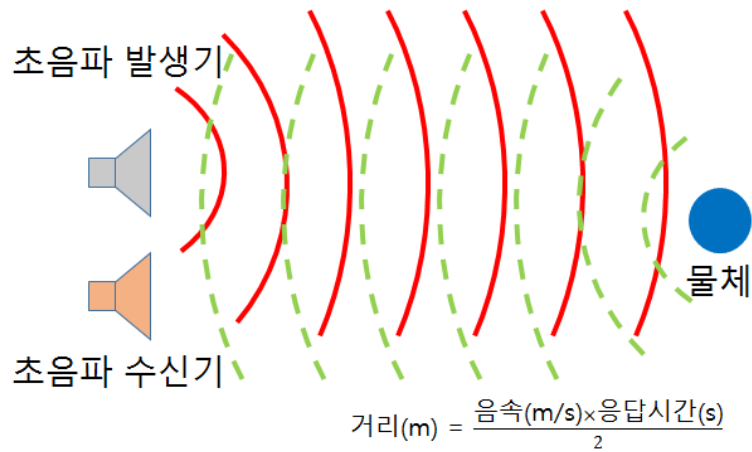
출처: Autonics(<https://autonics.co.kr>). 2016. 10. 03. 스크린샷.

[그림 3-1] 엔코더 예

2. 초음파 센서

초음파는 [그림 3-2]와 같이 음파 속도가 343 m/sec으로 가청 영역(20 Hz~20 kHz) 밖의 40~50 kHz 신호를 내보내어 물체에 반사되어 되돌아오는 시간을 측정하여 물체까지의 거리를 측정한다. 이를 이용하여 작업물이나 장애물 간의 거리를 측정하거나 작업 공간에 다수의 초음파 센서를 설치하여 작업 공간 내 로봇이나 작업물의 위치까지도 측정한다.

주변에 신호를 보내는 초음파 음역대가 발생하거나 물체가 초음파를 잘 반사하지 않은 재질인 경우 측정하기 어려운 단점이 있으니 적용하는 주변 환경을 잘 파악해야 한다.



[그림 3-2] 초음파 센서의 원리

3. 힘센서

미세한 작업을 하거나 일정한 힘으로 가공 또는 조립을 해야 하는 작업을 로봇이 해야 할 경우 발생하는 힘을 측정하여 힘제어를 해야 한다. 이때 사용하는 것이 [그림 3-3]과 같은 힘센서이다. 힘센서는 보통 스트레인게이지로 구성되어 있어 힘을 받을 경우 스트레인게이지의 형상이 변화하면서 발생하는 전류 변화값으로 힘을 측정한다. 힘센서는 측정하는 힘의 방향에 따라 1~6개를 출력한다.



출처: ATI INDUSTRIAL AUTOMATION(<http://www.ati-ia.com/>). 2016. 10. 03. 스크린샷.

[그림 3-3] 힘센서 예

수행 내용 / 센서 시뮬레이터 개발하기

재료 · 자료

- 센서 데이터 시트
- 로봇에 대한 사용자 요구사항서
- 리커다인 매뉴얼

기기(장비 · 공구)

- 컴퓨터, 인터넷, 프린터
- 동역학 시뮬레이터(리커다인)

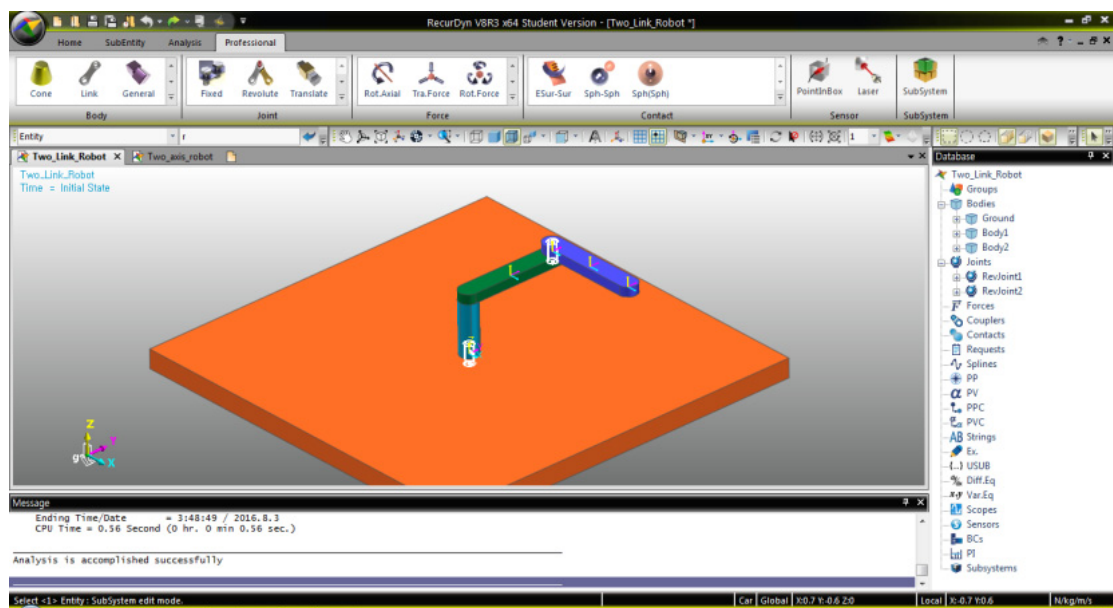
안전 · 유의 사항

- 해당 사항 없음

수행 순서

① [그림 3-4]와 같이 학습 1 - 수행 내용 2에서 했던 시뮬레이션을 기준으로 한다.

시뮬레이션 한 후 데이터 분석 방식으로 센서 계측 데이터를 보기 때문에 다른 시뮬레이션 했던 파일도 상관없다.

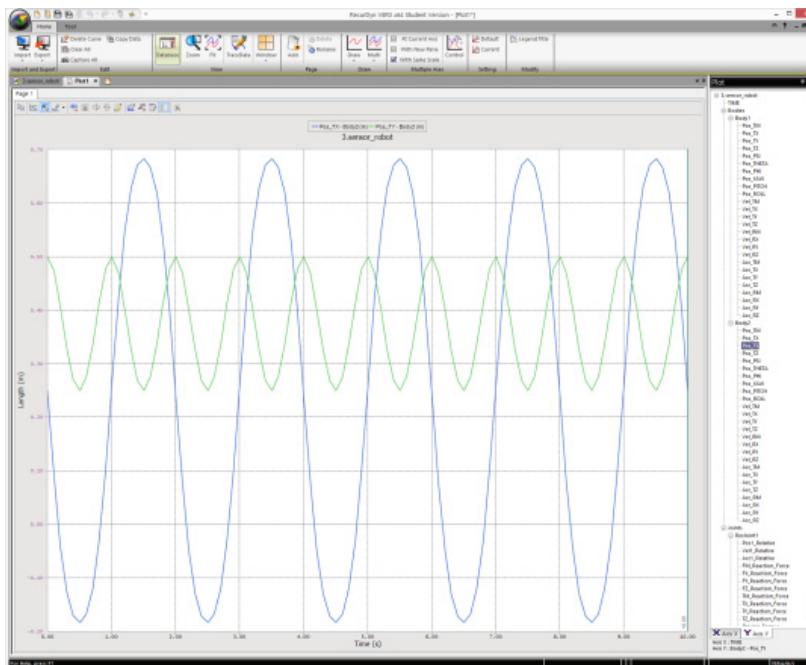


[그림 3-4] 2Link Robot 모델링 완성

② Analysis 탭에서 시뮬레이션을 한 후 Plot를 선택하면 새로운 창이 나온다.

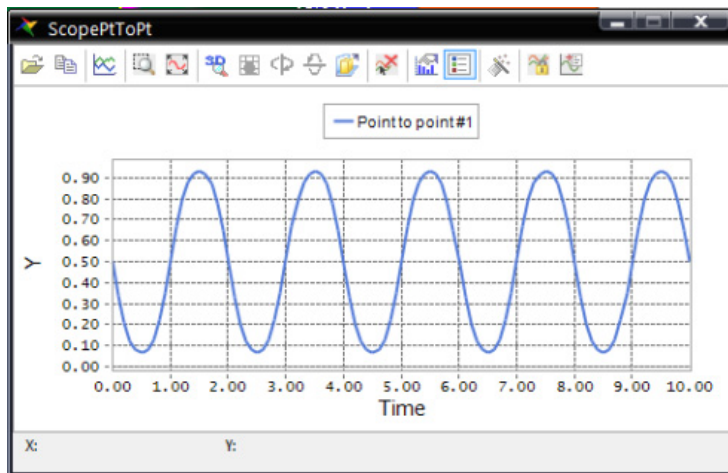
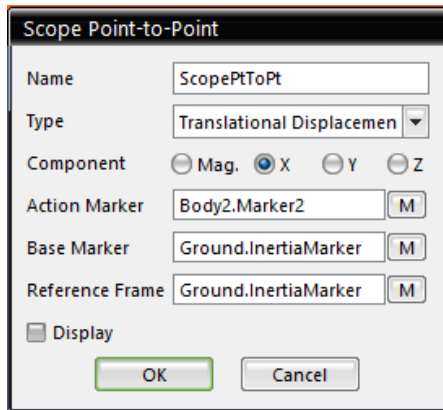
③ 기본적으로 X축은 Time으로 설정되어 있으며, Y축 선택으로 좌측 탭 Plot에서 설계했던 Body와 Joints를 선택할 수 있으며 [그림 3-5]와 같이 시뮬레이션 시간 동안 각 위치, 속도, 가속도, 힘, 모멘트에 대한 정보를 확인할 수 있다.

Joints에서 Driving Torque 그래프로 액추에이터에 걸리는 최대 토크값을 산출하여 액추에이터 토크값을 산정하는 데 기준이 될 수 있다. Reaction Force는 로봇의 관절에 걸리는 힘들로 강도 설계 시 사용 할 수 있다.



[그림 3-5] 2Link Robot 모델링 완성

1. Body는 무게중심을 기준으로 위치, 속도, 가속도값을 알 수 있으며, 별도의 위치의 위치, 속도, 가속도값을 구하기 위해선 Body 내 편집 상태에서 추적할 위치에 Marker 생성하고 재시뮬레이션을 한 후 Scope에서 Point To Point를 선택한다.
2. Type에서 위치, 속도, 가속도, 각도, 각속도, 각가속도를 선택할 수 있으며, Action Marker는 측정할 Marker이며, Base Marker는 위치 기준으로 할 위치의 Marker를 선택하면 된다. Reference Frame는 Base와 Action 사이 변화량의 방향의 기준이 되는 Marker를 택하는 것으로 측정할 데이터의 방향을 잘 확인하고 선택해야 한다.
3. [그림 3-6]은 최종 완성된 2링크 로봇의 모델링 결과를 나타낸다.



[그림 3-6] 2Link Robot 모델링 완성

수행 tip

- 보통 Reference Frame는 Ground의 좌표계를 사용하며, 센서 계측 시 좌표계의 방향에 따라 계측되는 데이터 값이 많이 달라 좌표계의 방향을 고려해야 하기 때문에 측정을 위한 추가적인 Marker 생성 시에도 Ground 좌표계와 방향을 같이 하면 편리하다.
- 계측되어 나오는 물리량의 단위는 모델링의 환경의 단위와 같다.

학습 1	로봇 기구 모델링하기
학습 2	로봇 동작 환경 모델링하기
학습 3	센서 모델링하기
학습 4	액추에이터 모델링하기
학습 5	통합 시뮬레이션 환경 개발하기

4-1. 액추에이터 모델링

학습 목표

- 액추에이터의 특성을 동역학적, 물리적 데이터로 모델링할 수 있다.
- 액추에이터의 동작을 그래픽으로 표현할 수 있다.
- 시간에 따라 변화하는 액추에이터의 동작을 애니메이션으로 표현할 수 있다.

필요 지식 /

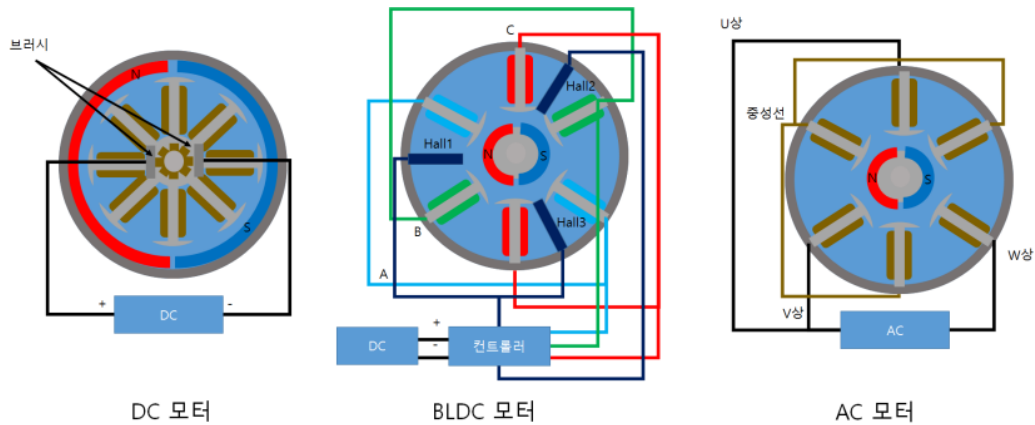
① 액추에이터

로봇의 팔을 구성하고 있는 관절의 직진 또는 회전 운동을 하는 부분이 액추에이터(actuator)이다. 액추에이터의 기본 성능으로 토크(torque)와 회전속도(RPM)가 있다.

로봇을 설계할 때 각 관절에 걸리는 토크 및 관절의 속도에 따라 액추에이터를 선정하게 된다.

액추에이터는 사용하는 에너지 방식에 따라 전동식, 유압식, 공압식으로 크게 구분된다. 일반적으로 전동식을 많이 사용하며, 반응 속도는 느리나 큰 힘이 필요할 땐 유압식, 적은 힘을 사용하고 빠른 반응 속도를 원할 땐 공압식을 많이 이용한다.

전동식 액추에이터에서는 [그림 4-1]과 같이 DC 모터, AC모터, Servo모터, Step모터, DD모터 등 종류가 다양하며, 각 종류마다 특징이 다양하기 때문에 용도에 맞게 선정해야 한다. DC 모터는 AC 모터에 비해 높은 토크를 낼 수 있으나, 브러시 마모 문제가 있다. DD 모터는 감속기가 필요 없는 장점이 있지만 크기가 커지는 단점이 있다.



[그림 4-1] DC 모터, BLDC 모터, AC 모터 구조

② 기어박스

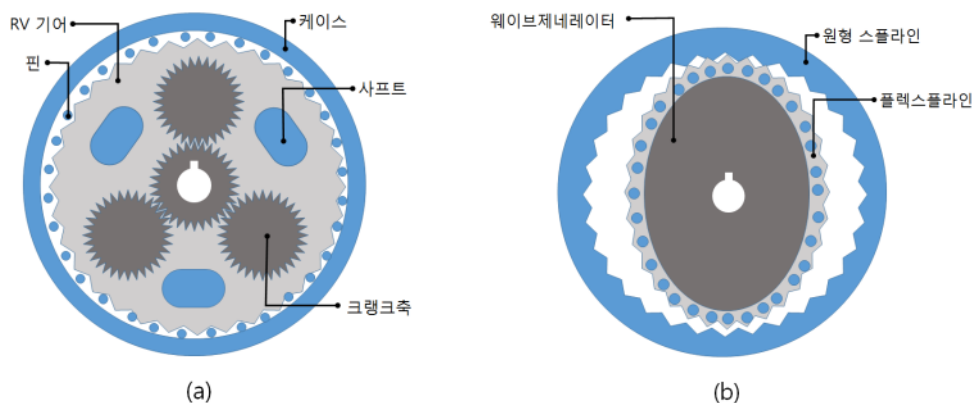
전동식 액추에이터는 회전 속도는 빠르나 로봇에 사용하기엔 토크가 낮아 감속기를 이용하여 회전 속도는 낮추지만 토크를 올려 사용하며, 회전운동을 직진운동 또는 회전 방향을 바꾸기 위해 기어박스를 사용한다.

회전운동을 직진운동으로 바꿔주기 위해 볼 스크류를 이용하며, 이는 직교로봇에 적용되어 사용되고 있다.

큰 힘을 얻기 위해 감속기를 액추에이터에 결합하여 함께 사용하는데 대표적으로 [그림 4-2]와 같은 하모닉 드라이브와 RV감속기가 있다.

하모닉 드라이브의 경우 중앙 타원형의 웨이브 제너레이터가 회전하면 이를 감싸고 있는 플렉스플라인이 타원 형상으로 탄성 변형되고 바깥 부분 서클러 스플라인과 이가 하나씩 맞물리면서 회전하게 된다. 웨이브 제너레이터가 1회전하면 반시계 반향으로 잇수 차 2개 분만 이동하게 된다. 크기가 소형으로 소형 로봇에 적합하나, 강성이 작아 대용량이나 반력이 작용하는 용도에는 부적합하다.

RV감속기는 동시 맞물림 수가 많아 백래쉬 및 회전 진동이 작아 정밀도가 높다.



[그림 4-2] (a) RV 감속기 구조, (b) 하모닉드라이브 구조

수행 내용 / 액추에이터 그래픽 표현하기 및 애니메이션하기

재료 · 자료

- 센서 데이터 시트
- 로봇에 대한 사용자 요구사항서

기기(장비 · 공구)

- 컴퓨터, 인터넷, 프린터

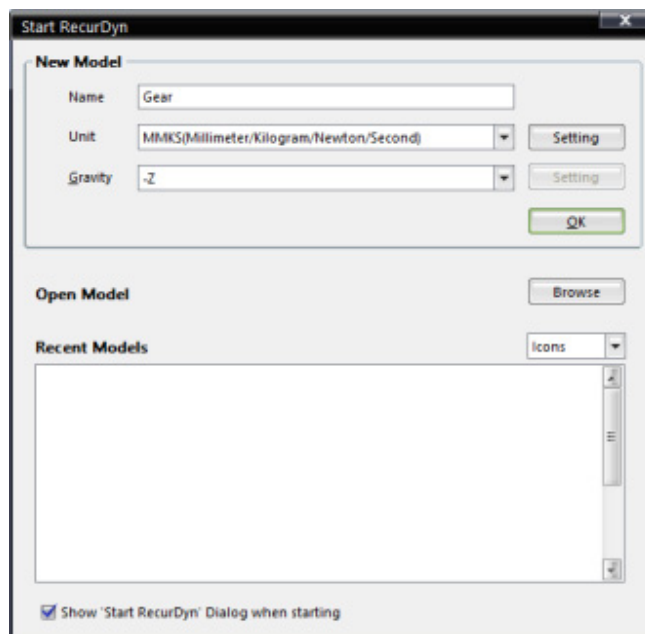
안전 · 유의 사항

- 해당 사항 없음

수행 순서

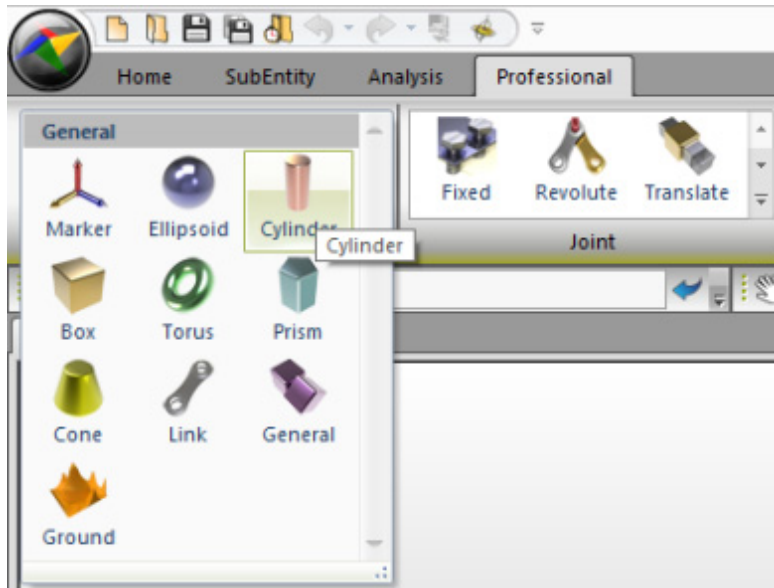
① Gear를 생성한다.

1. [그림 4-2]와 같이 Name는 Gear, Unit는 mm/kg/N/S으로 선택 후 OK 버튼을 누른다.



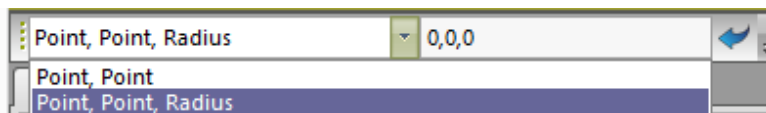
[그림 4-3] 환경 설정 탭

2. [그림 4-4]와 같이 Body탭에서 Cylinder를 선택한다.

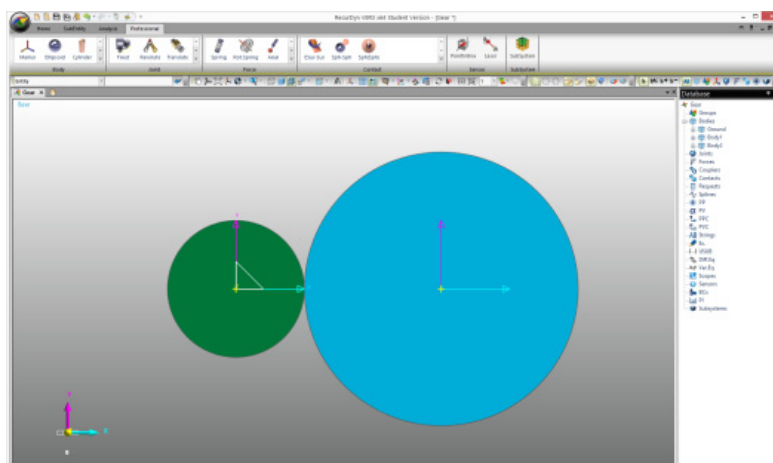


[그림 4-4] Body 선택 탭

3. [그림 4-5] 및 [그림 4-6]과 같이 Creation method으로 Point, Point, Radius를 선택 후 (0,0,0), (0,0,10), 100를 입력 후 다시 Cylinder를 선택 후 (300,0,0), (300,0,10), 200를 입력한다.



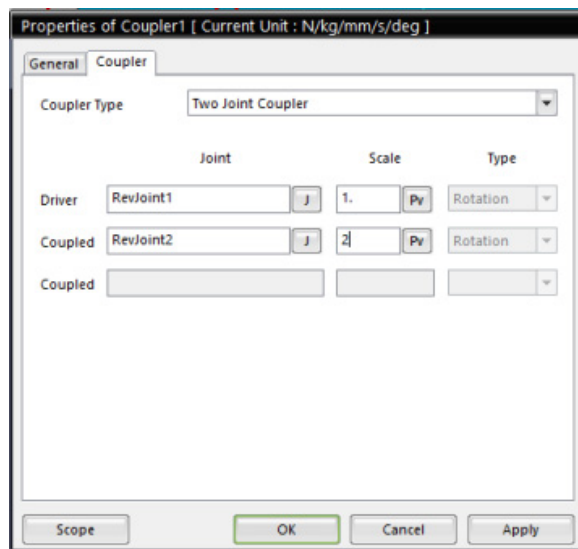
[그림 4-5] Cylinder 생성 조건 입력



[그림 4-6] 생성된 두 Cylinder

4. Joint에서 Revolute를 선택 후 Creation method을 Body, Body, Point, Direction으로 선택한다.

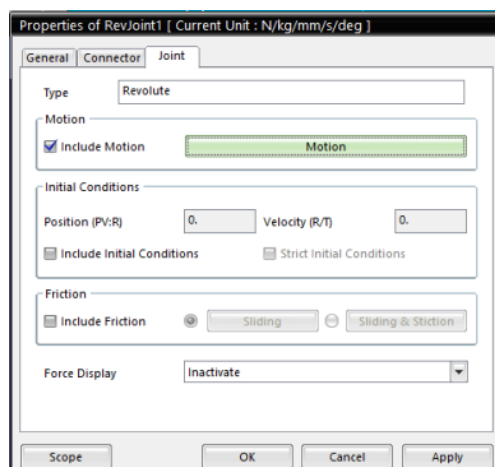
5. Ground, Body1, (0,0,0), (0,0,1)를 순서대로 입력하고 다시 Joint를 선택하여 Ground, Body2, (300,0,0), (0,0,1)를 선택한다.
6. Joint탭에서 Coupler를 선택 후 RevJoint1, RecJoint2를 선택한다.
7. Database탭에서 Coupler1의 Property에 들어가서 Coupled의 Scale를 2로 변경한다.
8. [그림 4-7]은 생성된 두 실린더를 나타낸다. 현 프로그램에선 기어를 설계할 수 없어 간단하게 Cylinder 형태로 하였으나 기어를 3D파일로 설계하여 적용할 수 있다.



[그림 4-7] 생성된 두 Cylinder

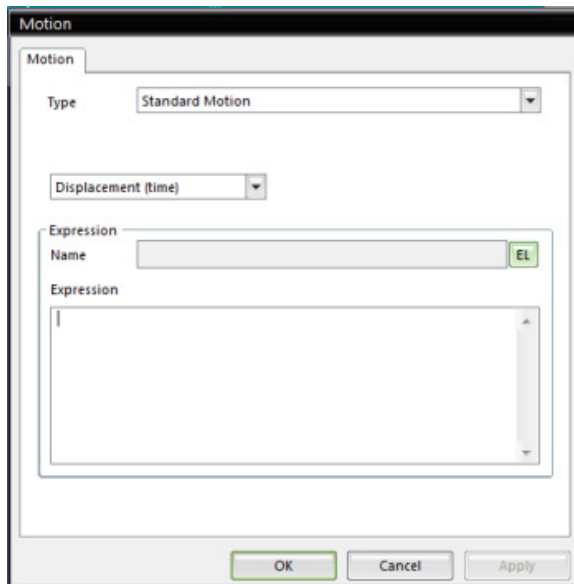
② Motion을 생성한다.

1. [그림 4-8]과 같이 Revjoint1의 Property에서 Motion-> Include Motion를 선택한다.



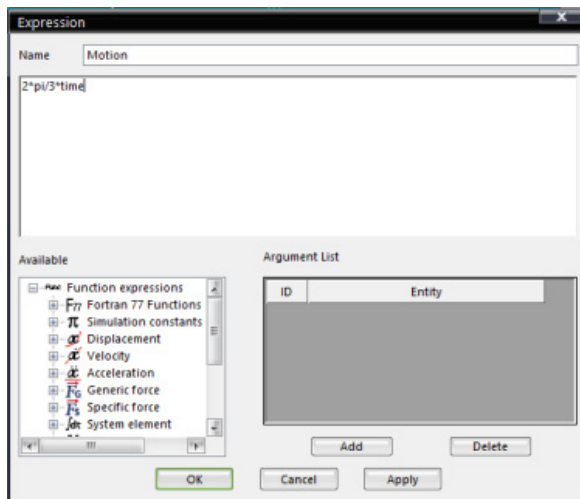
[그림 4-8] Properties of RevJoint1

2. [그림 4-9]와 같이 Motion 탭에 들어가 EL 탭에서 Create를 선택한다.



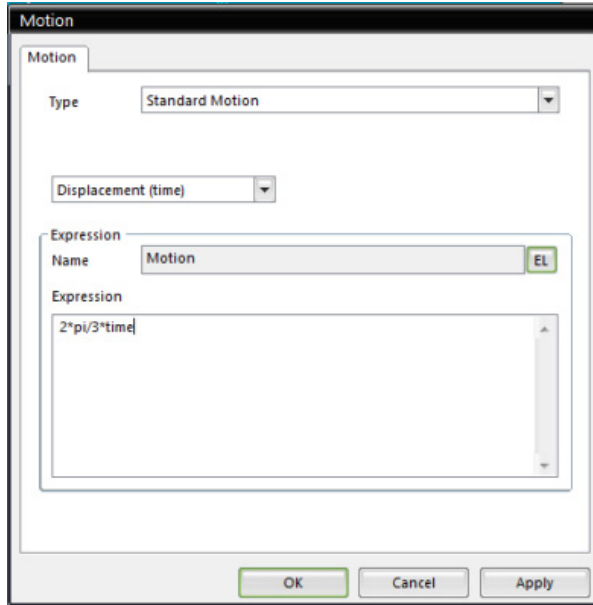
[그림 4-9] Motion 탭

3. Name는 Motion으로 선택 후 아래 입력창에 $2\pi/3 \cdot \text{time}$ 를 입력 후 OK버튼을 누른다.
4. [그림 4-10]과 같이 Expression List에서 생성된 Motion를 선택 후 OK버튼을 누른다.



[그림 4-10] Expression 탭

5. [그림 4-11]과 같이 Expression에 생성한 값이 입력된 것을 확인 후 OK 버튼을 누른다.

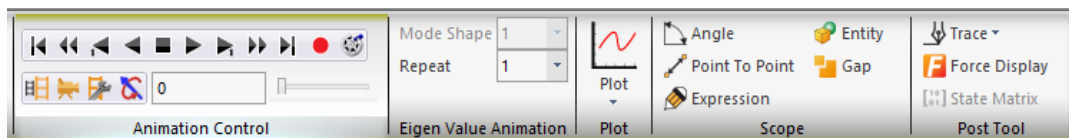


[그림 4-11] 선택된 Expression

6. Analysis에서 Dyn/Kin를 선택 후 End Time : 6, step 180 입력 후 Simulate 버튼을 누른다.

③ Simulation 결과를 분석한다.

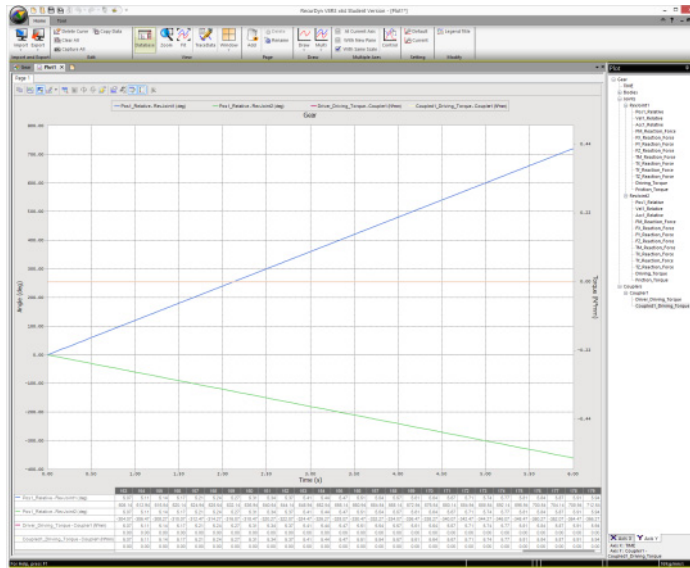
1. Simulation이 다 끝나면 [그림 4-12]와 같은 Animation Control 탭과 Plot 탭 등 결과 분석을 할 수 있는 탭들이 활성화된다.



[그림 4-12] Simulation 후 활성화 된 탭

2. 재생 버튼을 눌러 결과를 시각적으로 확인 할 수 있으며, 정확한 데이터를 확인하기 위해 Plot를 선택한다.

3. 새로 생긴 Plot창에서 RevJoint1과 RevJoint2에서 위치, 속도, 가속도, 힘, 토크 등을 선택 하여 [그림 4-13]과 같은 결과 값을 확인할 수 있다.



[그림 4-13] 결과 분석 Plot 창

수행 tip

- Revjoint1과 Revjoint2의 회전 값은 방향은 반대이나 1/2값인 이유는 감속 비율이 1:2이기 때문이다.
- Coupler에서 Scale를 -값으로 입력 시 방향은 같은 방향으로 회전하게 된다.

학습 1	로봇 기구 모델링하기
학습 2	로봇 동작 환경 모델링하기
학습 3	센서 모델링하기
학습 4	액추에이터 모델링하기

학습 5 통합 시뮬레이션 환경 개발하기

5-1. 통합 시뮬레이션 환경 개발

학습 목표

- 개발자는 로봇 동역학 시뮬레이터 설계를 위한 요구 사항과 계획을 작성할 수 있어야 한다.
- 로봇 동역학 시뮬레이션 소프트웨어 코딩을 위해, 로봇 기구학적 구조를 파악할 수 있어야 한다.
- 로봇 동역학 분석 소프트웨어를 이용하여, 동역학 시뮬레이션 로직이 적절하게 구현되었는지 평가할 수 있어야 한다.
- 로봇 운동 역학적 요구 사항을 만족하는지 시뮬레이터 성능을 분석할 수 있어야 한다.
- 로봇 제품의 기하학적, 동적, 물리적 데이터를 입력할 수 있다.
- 작업환경을 모델링하기 위한 데이터를 입력할 수 있다.
- 통합 시뮬레이터를 운영할 수 있는 메뉴를 구성하고 사용자 인터페이스 프로그램을 작성할 수 있다.

필요 지식 /

① 로봇 동역학 시뮬레이터 설계 계획

로봇의 동역학 시뮬레이터 설계하기 위해 우선 로봇의 형태를 분석하고 구성된 자유도를 파악해야 한다. 자유도에 따라 표현할 수 있는 관절을 선정하며, 관절별로 연결되어 있는 링크를 구분한다. 구분된 링크별로 무게, 무게중심, 관성모멘트를 계산한다.

로봇 동역학 시뮬레이터를 개발하는 주목적은 개발할 로봇의 목표한 작업을 이행 할 수 있는지 스펙을 사전 선정하고 검증하기 위해 사용된다.

목표한 작업은 크게 작업 범위, 작업 속도, 가반하중이다. 이 성능들은 로봇의 모터 성능을 높게 선정하면 가능한 일이지만 모터 성능의 한계가 있으며, 성능이 높아질수록 고가가 되기 때문에 모터 성능만 선정하는 것은 한계가 있으며, 링크의 형상을 변경하여 링크의 무게 및 관성모멘트를 줄이는 방법도 있다. 로봇 개발을 위한 시뮬레이터는 두 방법 중 하나만 사용하는 것이 아니라 서로 병행하면서 최적화된 모터 스펙 및 링크 외형을 선정해야 한다.

수행 내용 1 / 로봇 시스템 분석하기

재료 · 자료

- 센서 데이터 시트
- 로봇에 대한 사용자 요구사항서
- 산업용 로봇 카탈로그

기기(장비 · 공구)

- 컴퓨터, 인터넷, 프린터
- 행렬 계산이 가능한 소프트웨어

안전 · 유의 사항

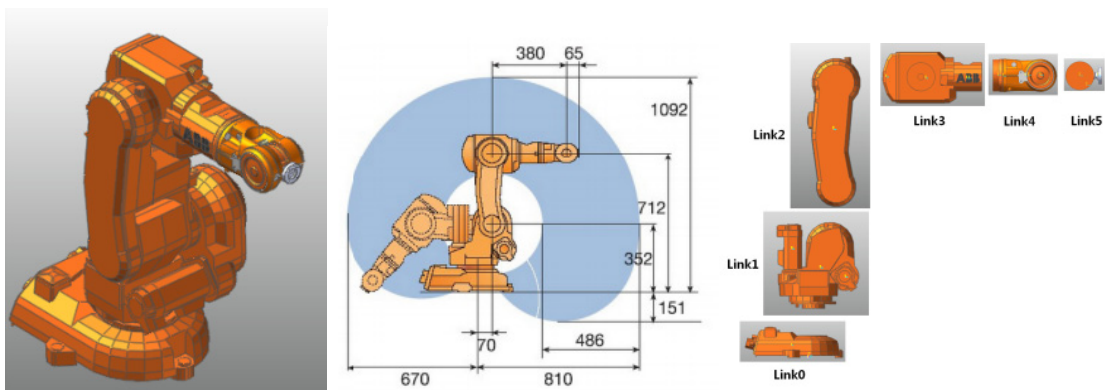
- 해당 사항 없음

수행 순서

① 선정된 산업용 로봇의 파라미터를 파악한다.

선정된 로봇의 카탈로그 및 홈페이지를 참고하여 [그림 5-1]과 같이 관절의 위치 및 링크의 무게, 무게중심, 관성모멘트를 파악한다.

링크의 무게는 좌표계와 상관없으나 무게중심, 관성모멘트는 좌표계에 따라 다르므로 카탈로그에서 설정한 좌표계와 본인이 선정한 좌표계와 맞는지 확인한다.

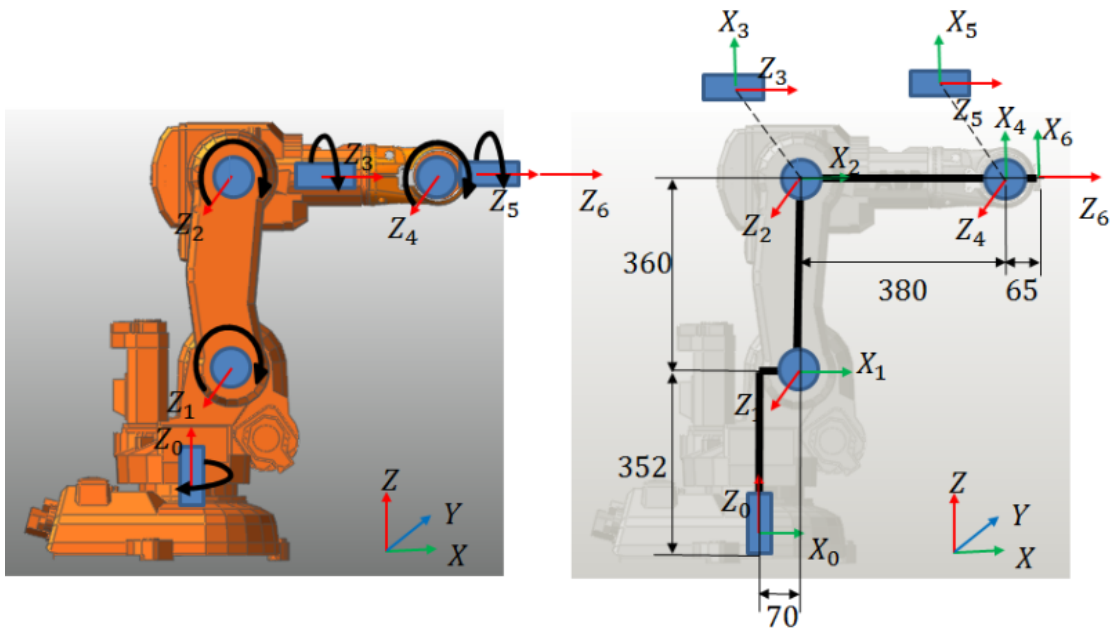


[그림 5-1] 선정된 로봇의 형상과 로봇의 Workspace 및 링크 길이, 각 링크 구별

② 선정된 산업용 로봇의 관절별 좌표계를 선정한다.

[그림 5-2]와 같이 로봇의 관절 위치와 회전 방향을 확인한다.

관절 회전 방향에 대해서 Z축 방향을 선정하고, 전 후 Z축 방향을 기준으로 평행하지 않지만 만나지 않은 경우 두 Z축에 수직인 최단거리 방향으로 X를 선정하며, 평행할 경우 이전 X축 방향을 그대로 한다. 두 Z축이 만나는 경우 두 축이 만나 생기는 평면의 법선인 방향으로 X축 방향을 선정한다. 전후 Z축이 만나는 경우 전축 위치에서 좌표계를 그려도 무방하며 DH 파라미터를 나타내기 더 쉽다. 또 최초의 좌표계는 기준 좌표계 기준으로 한다.



[그림 5-2] 로봇의 관절의 회전 방향 Z축 표시 및 각 관절 좌표계 거리값 표시

③ 선정된 좌표계를 기준으로 DH 파라미터를 작성한다.

<표 5-1>과 같이 전 X축 기준으로 전 Z축과 현 Z축 각도 변화를 α , 두 Z축의 거리를 a , 전 Z축 기준으로 X축 간의 각도를 θ , 거리를 d 으로 표시한다.

좌표계는 오른손 법칙이라고 하여 엄지를 위로 세우고, 검지를 앞으로, 중지를 90도 구부리면 엄지가 Z축의 +방향, 검지가 X축 +방향, 중지가 Y축 +방향이 되며, 회전 방향은 엄지를 Z축 +방향으로 하고 나머지 손가락들이 접히는 방향을 + 회전 방향으로 한다.

Z축 기준의 X축 간의 각도에서 각 θ 들이 의미하는 것은 Z축 기준으로 회전하는 관절이기 때문에 회전 했을 경우 변하는 각도를 의미한다.

<표 5-1> 선정된 6축 로봇의 DH 파라미터

i	α_i	a_i	θ_i	d_i
1	90°	70	θ_1	352
2	0°	360	θ_2	0
3	90°	0	θ_3+90°	0
4	-90°	0	θ_4	380
5	90°	0	θ_5	0
6	0°	0	θ_6	65

④ 정해진 DH 파라미터로 끝단의 좌표값을 구한다.

아래의 식을 이용하여 p_x, p_y, p_z 를 구하면 Link0에서 본 Link6의 위치 값을 구할 수 있다.

$${}^{i-1}_iT = \begin{bmatrix} \cos \theta_i & -\sin \theta_i & 0 & a_i \\ \sin \theta_i \cos \alpha_i & \cos \theta_i \cos \alpha_i & -\sin \alpha_i & -\sin \alpha_i d_i \\ \sin \theta_i \sin \alpha_i & \cos \theta_i \sin \alpha_i & \cos \alpha_i & \cos \alpha_i d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^0_6T = {}^0_1T {}^1_2T {}^2_3T {}^3_4T {}^4_5T {}^5_6T = \begin{bmatrix} n_x & v_x & \delta_x & p_x \\ n_y & v_y & \delta_y & p_y \\ n_z & v_z & \delta_z & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

수행 내용 2 / 통합 시뮬레이션 개발하기

재료 · 자료

- 센서 데이터 시트
- 로봇에 대한 사용자 요구사항서
- 산업용 로봇 카탈로그

기기(장비 · 공구)

- 컴퓨터, 인터넷, 프린터
- 행렬 계산이 가능한 소프트웨어

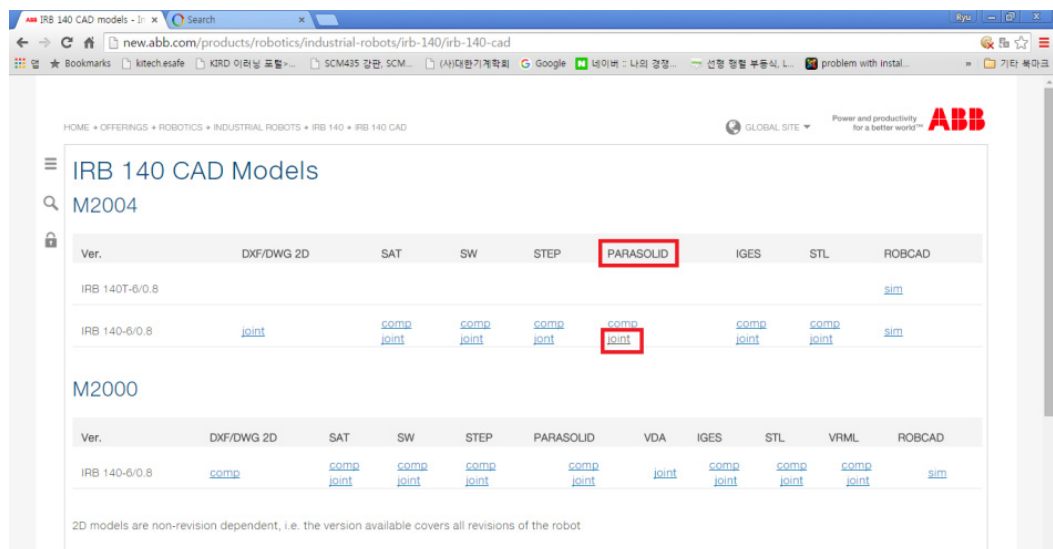
안전 · 유의 사항

- 해당 사항 없음

수행 순서

① 선정된 산업용 로봇의 설계 파일 다운로드한다.







1. [그림 5-3]과 같이 ABB 로봇틱스(<http://new.abb.com/products/robotics/industrial-robots/irb-140/irb-140-cad>) 홈페이지에서 jonit 단위로 되어 있는 파일을 다운로드한다.



출처: ABB(<http://new.abb.com>). 2016. 10. 03. 스크린샷.
[그림 5-3] ABB 홈페이지 내 로봇 설계 파일 다운로드창

2. 다운로드한 파일을 압축을 풀면 [그림 5-4]와 같이 IRB140 로봇은 Base, Link1~6으로 구성되어 있다.

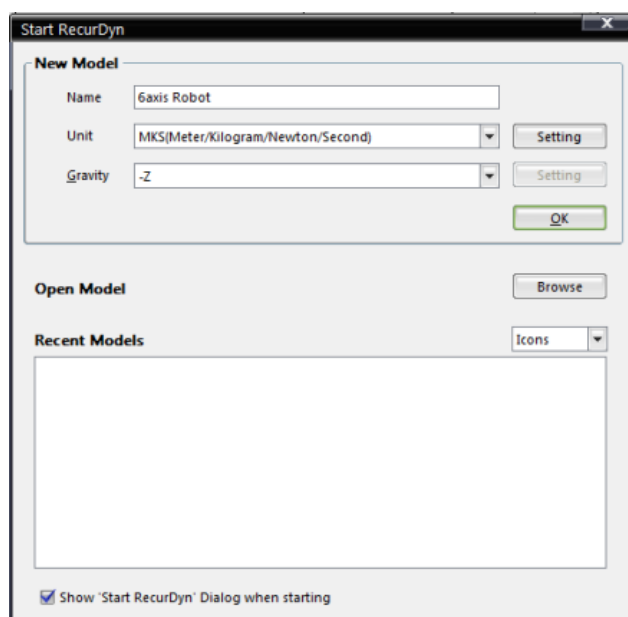
리커다인 학생 버전은 무료인 대신 몇 가지 제약 조건이 있다. Import 할 수 있는 파일은 Parasolid 파일 x_t만 가능하며, 1MB이하 파일만 불러올 수 있으며, 생성하거나 불러올 수 있는 Body의 수는 20개 이하이다. 이점을 고려하여 시뮬레이션 할 로봇을 선정 및 설계해서 테스트 하도록 한다.

이름	수정한 날짜	유형	크기
 IRB140_-_M2004C_BASE.x_t	2009-11-25 오후...	X_T 파일	572KB
 IRB140_-_M2004C_LINK1.x_t	2009-11-25 오후...	X_T 파일	907KB
 IRB140_-_M2004C_LINK2.x_t	2009-11-25 오후...	X_T 파일	475KB
 IRB140_-_M2004C_LINK3.x_t	2009-11-25 오후...	X_T 파일	848KB
 IRB140_-_M2004C_LINK4.x_t	2009-11-25 오후...	X_T 파일	532KB
 IRB140_-_M2004C_LINK5.x_t	2009-11-25 오후...	X_T 파일	249KB
 IRB140_-_M2004C_LINK6.x_t	2009-11-25 오후...	X_T 파일	30KB

[그림 5-4] 다운로드된 관절별 설계파일

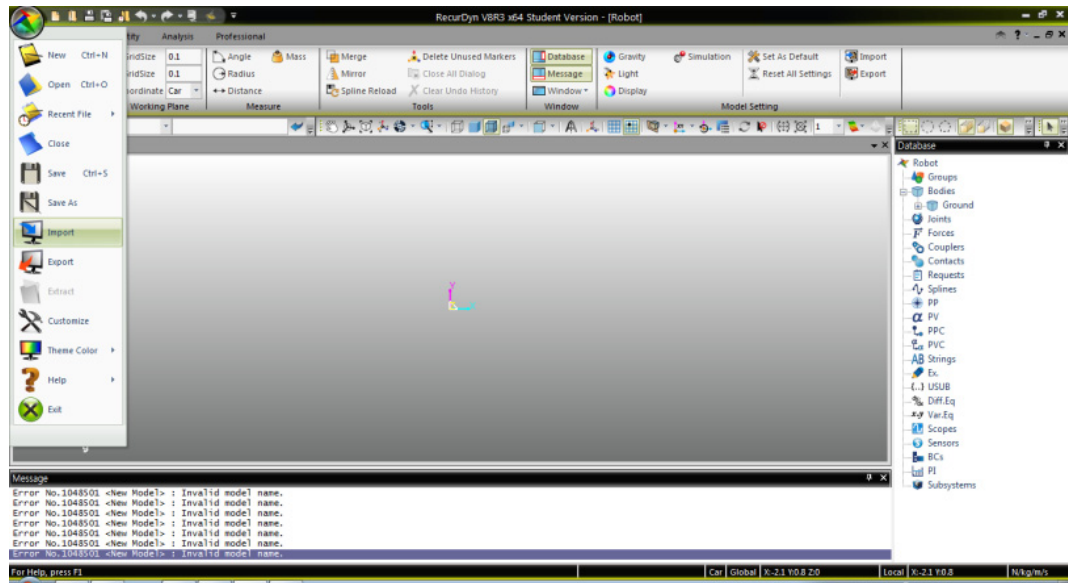
② 시뮬레이터를 만든다.

1. 리커다인을 실행 시키면 New Model 설정 창이 나온다.
2. [그림 5-5]와 같이 Name는 Robot, Unit(단위계)는 미터, 킬로그램, 뉴턴, 초(MKS)로 하며, 중력 방향은 -Z으로 한다.



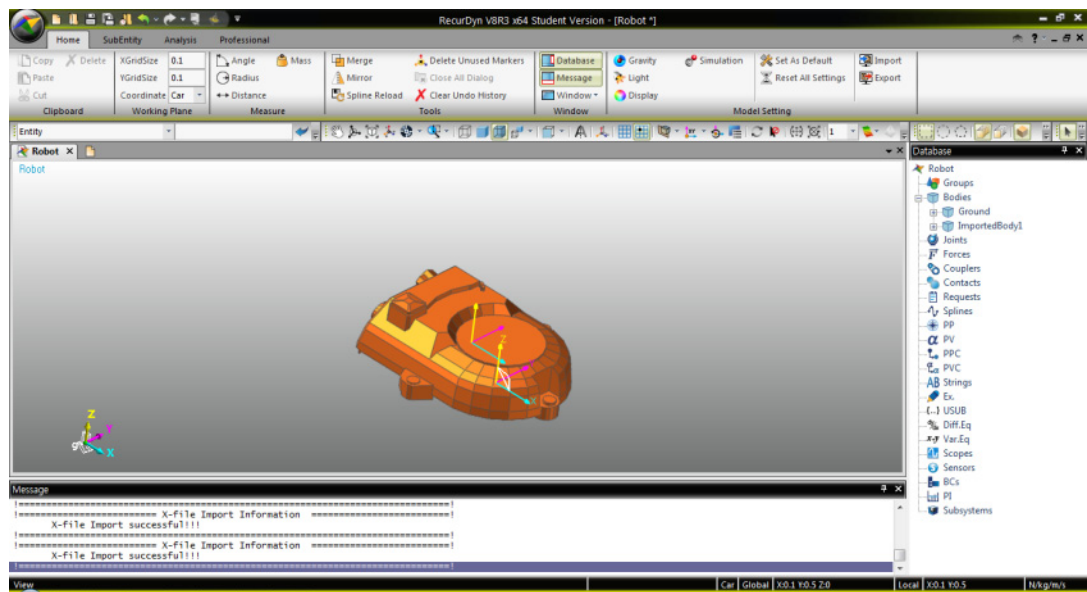
[그림 5-5] 시뮬레이터 환경 설정 창

3. [그림 5-6]과 같이 다운 받은 설계 파일을 리커다인으로 Import한다,



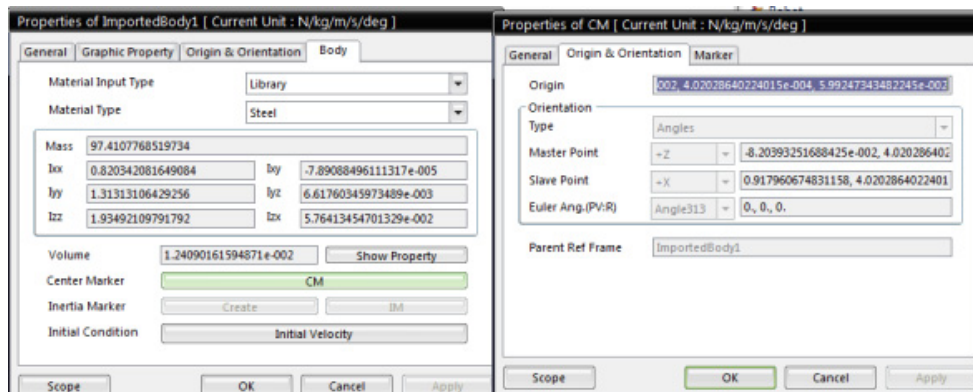
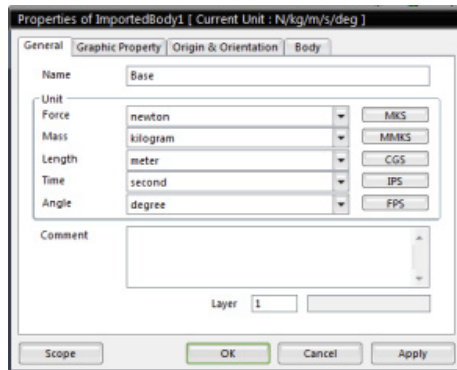
[그림 5-6] 설계 파일 Import

4. [그림 5-7]과 같이 리커다인 아이콘을 클릭한 후 Import버튼을 누르고 다운 받은 설계 파일 위치로 선택하여 Base부터 선택한다.



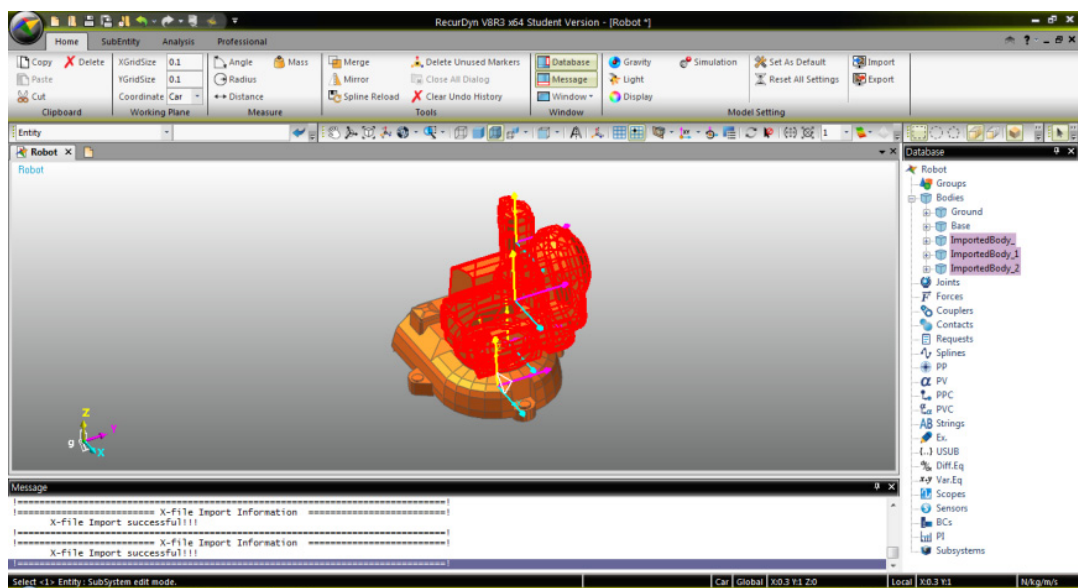
[그림 5-7] Import된 Base

5. [그림 5-8]과 같이 Base의 속성(Property)에서 Name를 Base으로 변경하고 Body 속성에서 물체의 재질을 변경할 수 있으며, 그에 따라 무게, 관성모멘트가 달라진다. Body 속성에서 CM를 선택하여 설계상의 무게중심도 확인할 수 있다.



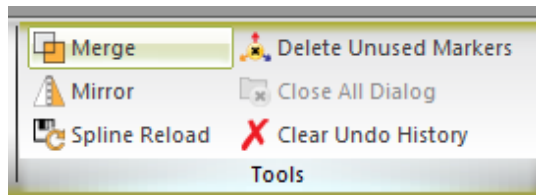
[그림 5-8] Base의 속성창

6. [그림 5-9]와 같이 Link1를 불러온다. Link1는 3개의 Body로 구성되어 있다. 첫 번째 Body와 두 번째 Body는 1축과 2축에 모터 부분이 따로 Body를 구성하고 세 번째가 링크로 구성되어 있다. 편하게 시뮬레이션 Body를 설정하기 위해선 3개를 합쳐주는 작업을 해야 한다.



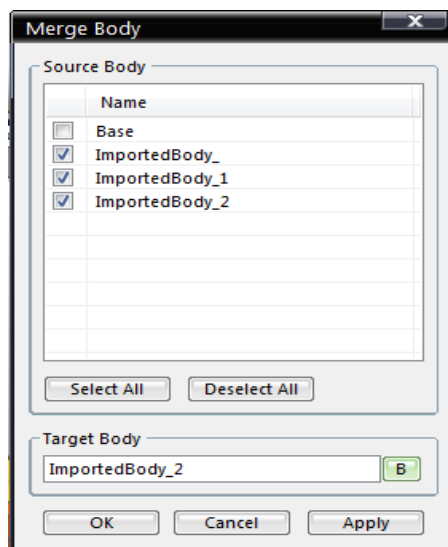
[그림 5-9] 여러 파트별로 된 Link1

7. [그림 5-10]과 같이 Tool 탭에서 Merge(합치기)를 선택한다.



[그림 5-10] Merge 아이콘

8. [그림 5-11]과 같이 Merge Body 창이 열리는데 Source Body에는 합칠 Body들을 선택하고, Target Body는 합쳐질 Body들이 합쳐질 기준 Body를 선택한다.



[그림 5-11] Merge 창

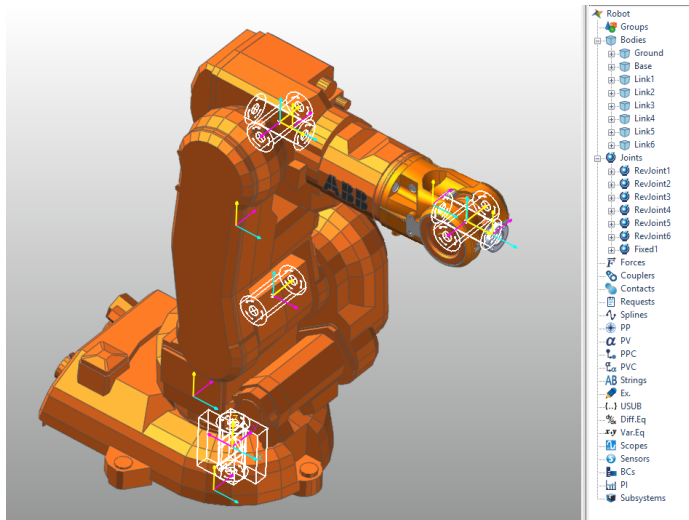
9. Import버튼을 누르고 다운 받은 설계 파일 위치로 선택하여 Link2를 선택한 후 생성된 Body의 이름을 Link2으로 변경한다.
10. Import버튼을 누르고 다운 받은 설계 파일 위치로 선택하여 Link3를 선택하여 불러온 후 생성된 3개의 Body를 Merge한 후 이름을 Link3으로 변경한다.
11. Import버튼을 누르고 다운 받은 설계 파일 위치로 선택하여 Link4를 선택하여 불러온 후 생성된 5개의 Body를 Merge한 후 이름을 Link4으로 변경한다.
12. Import버튼을 누르고 다운 받은 설계 파일 위치로 선택하여 Link5를 선택하여 불러온 후 생성된 2개의 Body를 Merge한 후 이름을 Link5으로 변경한다.
13. Import버튼을 누르고 다운 받은 설계 파일 위치로 선택하여 Link6를 선택하여 불러온 후 이름을 Link6으로 변경한다.

14. Joint탭에서 Revolute를 선택 후 Creation method에서 (Body, Body, Point, Direction)를 선택 후 [Base, Link1, (0,0,0), (0,0,1)], [Link1, Link2, (0.07, 0, 0.352), (0,1,0)], [Link2, Link3, (0.07, 0, 0.712), (0,1,0)], [Link3, Link4, (0.07, 0, 0.712), (1,0,0)], [Link4, Link5, (0.45,0,0.712), (0,1,0)], [Link5, Link6, (0.45,0,0.712), (1,0,0)]을 반복 생성한다.
15. Body 속성창에서 Material Input Type를 User Input으로 변경하여 <표 5-2>와 같이 무게, 관성모멘트 무게중심을 변경한다.

<표 5-2> 로봇의 링크별 무게, 무게중심 및 관성모멘트

$m_0 = 12kg, m_1 = 35kg, m_2 = 25kg,$ $m_3 = 18kg, m_4 = 6.5kg, m_5 = 1.5kg$
$P_{c1} = (0.13491, -0.02913, 0.221111), P_{c2} = (0.06027, -0.09243, 0.55009),$ $P_{c3} = (0.18751, 0.00867, 0.711111), P_{c4} = (0.40923, 0, 0.712),$ $P_{c5} = (0.4663263, 0.0004162, 0.7119398)$
${}^1I_1 = \begin{bmatrix} I_{xx1} & I_{xy1} & I_{xz1} \\ I_{xy1} & I_{yy1} & I_{yz1} \\ I_{xz1} & I_{yz1} & I_{zz1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.765 & -0.067 & 0.14 \\ -0.067 & 0.78 & 0.3 \\ 0.14 & 0.3 & 0.31 \end{bmatrix},$
${}^2I_2 = \begin{bmatrix} I_{xx2} & I_{xy2} & I_{xz2} \\ I_{xy2} & I_{yy2} & I_{yz2} \\ I_{xz2} & I_{yz2} & I_{zz2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.38 & 0.02 & 0.045 \\ 0.02 & 1.09 & 0.31 \\ 0.045 & 0.31 & 0.364 \end{bmatrix},$
${}^3I_3 = \begin{bmatrix} I_{xx3} & I_{xy3} & I_{xz3} \\ I_{xy3} & I_{yy3} & I_{yz3} \\ I_{xz3} & I_{yz3} & I_{zz3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.014 & -0.021 & -0.002 \\ -0.021 & 0.338 & 0 \\ -0.002 & 0 & 0.349 \end{bmatrix},$
${}^4I_4 = \begin{bmatrix} I_{xx4} & I_{xy4} & I_{xz4} \\ I_{xy4} & I_{yy4} & I_{yz4} \\ I_{xz4} & I_{yz4} & I_{zz4} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.005 & 0 & 0 \\ 0 & 0.016 & 0 \\ 0 & 0 & 0.011 \end{bmatrix},$
${}^5I_5 = \begin{bmatrix} I_{xx5} & I_{xy5} & I_{xz5} \\ I_{xy5} & I_{yy5} & I_{yz5} \\ I_{xz5} & I_{yz5} & I_{zz5} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.0006 & -0.00004 & 0 \\ -0.00004 & 0.005 & 0 \\ 0 & 0 & 0.005 \end{bmatrix}$

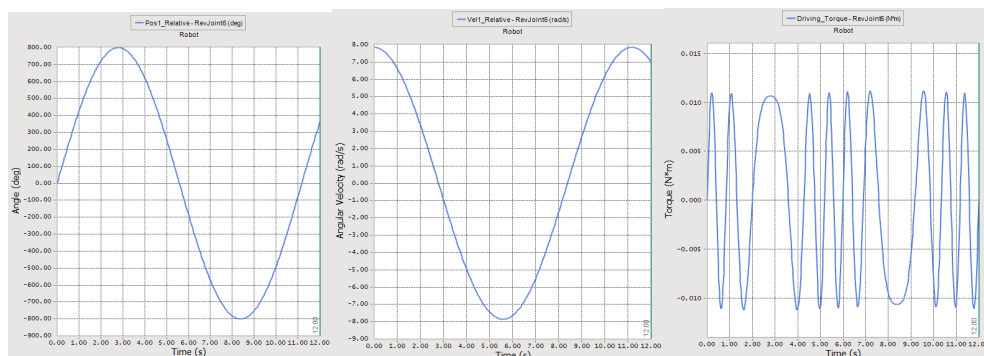
16. [그림 5-12]와 같이 Joint탭에서 Fixed를 선택하여 [Ground, Base, (0, 0, 0)] 입력하여 Base를 고정한다.



[그림 5-12] 최종 생성한 로봇 시뮬레이터

③ 애니메이션을 수행한다.

1. Link6의 속성에서 Material Input Type를 User Input으로 변경하여 무게를 5kg으로 변경한다.
Link6의 무게를 5kg으로 변경한 것은 선정된 로봇의 가반하중이 5kg이기 때문에 변경한 것이다. 별도의 Body를 생성한 후 Link6과 연결하여도 무관하다.
2. RevJoint6의 속성에서 Motion를 선택하여 위치 궤적을 $[800 \cdot \pi / 180 \cdot \sin(450/800 \cdot \text{time})]$ 으로 입력하고 다른 관절은 0으로 입력한다.
Link6의 궤적을 $[800 \cdot \pi / 180 \cdot \sin(450/800 \cdot \text{time})]$ 으로 한 이유는 Link6의 회전 반경 제한이 800° 이며 최대속도가 $450^\circ/\text{s}$ 이기에 이에 해당되는 임의의 궤적을 선택한 것이다.
3. Analysis탭에서 Dyn/Kin으로 End Time: 12초, Step: 500 시뮬레이션한다.
4. Plot를 선택하여 RevJoint6의 [그림 5-13]과 같은 위치 궤적, 속도 궤적, 토크 궤적을 확인한다.
5. 다른 관절에도 다양한 궤적을 입력하여 토크값을 확인한다.



[그림 5-13] RevJoint6의 위치, 속도, 토크 궤적

수행 tip

- 애니메이션으로 동역학 해석을 한 것이지만 관절이 움직인 궤적에 해당되는 모터의 토크값을 선정할 수 있다.
- 실제 로봇의 경우 외부나 내부에 케이블이 연결되어 장력이나 꼬임이 모터의 토크에 영향을 주며 시뮬레이션의 경우 관절상이 마찰이 적용되어 있지 않기 때문에 시뮬레이션 결과에서 1.2배 이상의 토크량을 가진 모터를 선정하는 것이 좋다.