

SolidWorks Motion을 활용한 기구학 해석

교육 목표

SolidWorks Motion의 기본 이해와 활용

- 기구학 해석의 기본 원리 습득
- 실무에서 발생하는 운동 문제 해결 능력 향상

실습 중심의 핸드온 학습

- 다양한 메커니즘 설계 및 분석
- 설계 검증 및 최적화 방법론 습득

현장 적용 능력 강화

- 실제 기계 설계 과정에 Motion 해석 통합
- 설계 검증 및 문제 해결 워크플로우 정립

교육 일정

1일차: SolidWorks 기초 및 모델링

- SolidWorks 인터페이스 및 기본 기능 복습
 - 부품 및 어셈블리 모델링 실습

1

2

2일차: 어셈블리와 메이트

- 고급 어셈블리 기법
- 메이트와 구속조건 활용

3

3일차: Motion 기초 및 응용

- Motion Study 환경 설정
 - 모터 구동 조건 설정
 - 기구학 해석 실습

3일차 커리큘럼

1

1교시: Motion 인터페이스 소개

- SolidWorks Motion 활성화 방법
- 사용자 인터페이스 구성 요소
- 기본 용어 및 개념

2

2교시: Motion Study 설정

- 세션 1: 모터 구동 조건 설정
- 세션 2: 4-bar 링크 기구 운동 해석

3

3교시: 결과 분석 및 최적화

- 세션 3: 기구 비교 분석
- 세션 4: 동역학 해석 기초

세션 1: Motion Study 환경 설정 및 모터 구동 조건 설정

- 목표: Motion Study 활성화 → MotionManager → 모터 추가 워크플로우 이해
- 브리지: 인터페이스 탐색 → 실제 모터 설정 실습
- 적용: 갠트리 크레인 모터 구동 조건 설정

실습 준비: 파일, 애드인, 단위, 저장

준비 사항

- 파일: 4-bar 링크 어셈블리 열기 준비
- 애드인: Tools → Add-Ins → SolidWorks Motion 체크
- 단위: MMGS 확인(옵션) → 정확도 ↑
- 저장: Save As... 실습용 사본 생성

Step1-1: 4-bar 파일 열기

- File → Open → 제공된 4-bar 링크 선택
- Large Assembly 모드 ×, 그래픽 성능 확보
- Rebuild(↻) 후 경고 유무 확인

⊗ 경고 메시지가 있다면 먼저 해결한 후 진행하세요. 구속 오류는 Motion 해석에 치명적입니다.

Step1-2: 구속 상태·이름 정리

- Mate 트리 검토: Revolute(회전) 중심 조인트 확인
- 주요 파트/메이트 이름 간단화(= 식별 ↑)
- 저장: 실습용 버전명 붙이기

메이트 이름 예시: Revolute_A, Link_Driver와 같이 기능을 알 수 있는 명칭으로 변경


Step2-1: Motion Study 탭 활성화

- 화면 하단 Motion Study 탭 클릭
- Motion Study 1 생성 확인
- 타임라인/키 프레임 영역 파악

타임라인 영역은 모터, 스프링, 댐퍼 등의 설정을 시간 축에 따라 관리하는 공간입니다.

Step2-2: 해석 타입 = Motion Analysis

- 타입 드롭다운: Animation ×, Motion Analysis 선택
- Add-Ins: SolidWorks Motion 필수
- 중력/접촉은 이번 세션 제외(예고)

 Animation은 단순 시각화만 가능하며, 물리 기반 해석은 Motion Analysis 모드에서만 가능합니다.

Step2-3: 타임 세팅·계산 옵션

- 계산 시간(Total Time) = 5s 설정
- 프레임 레이트 30 fps 권장
- Solver 옵션 기본값 유지(안정성 우선)

시뮬레이션 시간과 FPS 설정은 결과의 부드러움과 계산 시간에 영향을 미칩니다.

Step3-1: 구동 조인트 식별

- 구동축: 크랭크 링크의 Revolute_A 메이트
- 선택 기준: 단일 자유도, 다른 링크 종속
- 방향 기준: 양의 회전 = 시계/반시계 정의

Step3-2: 선택 안정화 팁



원통형 면 선택

- 축을 직접 선택하는 것보다 원통형 면 (shaft)을 선택하면 축이 자동으로 인식됩니다.
- 노란색 점선으로 축이 미리 표시되는지 확인하세요.



Mate Connector 활용

- 복잡한 형상에서는 Mate Connector를 미리 생성해 정확한 위치와 방향을 지정할 수 있습니다.



Selection Filter 사용

- Selection Filter(F5)를 활용하여 원하는 유형의 요소만 선택되도록 제한할 수 있습니다.

Step3-3: Motor 도구 실행

- MotionManager 상단 Motor 아이콘 클릭
- PropertyManager 열림 확인
- Feature 트랙에 Motor 항목 생성

Motor 도구는 회전 또는 직선 운동을 생성하며, 모터의 모든 설정은 PropertyManager에서 진행합니다.

Step3-4: 대상 축 지정·방향 확인

- Component/Direction: Revolute_A 축 선택
- 화살표(↑/↓)로 회전 방향 확인/반전(↔)
- 거제조선소 갠트리 호이스트: 회전 방향 안전 규격 준수

⊗ 잘못된 회전 방향 설정은 기구 충돌이나 리미트 초과 문제를 일으킬 수 있습니다!

Step3-5: 시작/종료 시간 배치

- Motor 트랙 시작 = 0s, 종료 = 5s
- 지연 스타트 필요 시 Start Time 조정
- 크레인 예: 소프트 스타트 ⇒ 0.5s 지연

타임라인에서 모터 트랙을 0초부터 5초까지 설정하고, 필요 시 시작 시간을 지연시킬 수 있습니다.

Step4-1: 모터 타입 선택(회전/직선)

Rotary Motor (회전)

- 크랭크 구동에 적합
- 회전축 중심으로 구동
- RPM, rad/s, deg/s 단위 사용

Linear Motor (직선)

- 갠트리 트롤리 사례
- 직선 방향 구동
- m/s, mm/s 단위 사용

모터 타입 변경 시 선택된 요소와 입력 단위가 달라지므로 주의하세요.

Step4-2: 속도 단위·값 설정

- Speed: 30 RPM(예) ⇒ 링크 운동 확인
- 단위 전환: RPM ↔ rad/s, deg/s
- 발진 방지: 과도한 속도 ×

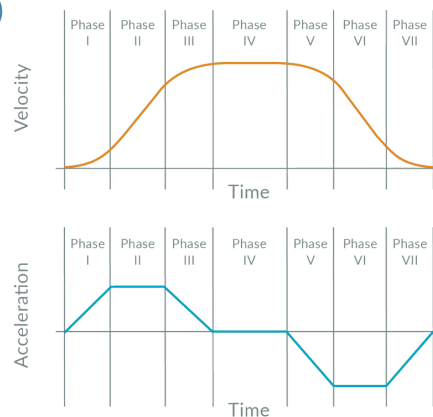
적절한 속도 설정은 안정적인 시뮬레이션을 위해 중요합니다. 현실적인 값으로 시작하여 필요에 따라 조정하세요.

Step4-3: 프로파일: Constant vs Ramp

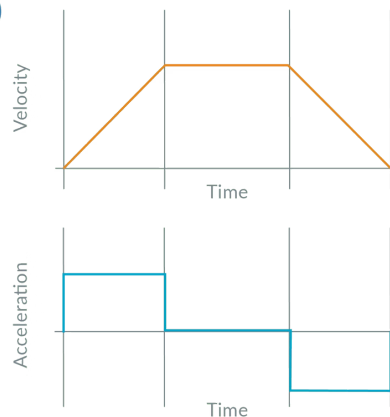
속도 프로파일 옵션

- Constant Speed: 일정 속도 (기본)
- Segments: 가감속 램프 구현
- S-curve 유사: 짧은 구간 분할 \Rightarrow 충격 \downarrow

1A




1B



일정 속도 프로파일(직선)과 세그먼트를 이용한 램프 프로파일(사다리꼴)의 비교

램프 프로파일은 기계 충격을 완화하고 실제 모터 동작과 유사한 움직임을 구현합니다.

Step4-4: 방향·위상 검증

- Calculate(=) 실행 → 재생  결과 확인
- 회전 방향 문제 시 Reverse 체크
- 거제 트롤리 기준: 진행 방향 단위 일치 검증

시뮬레이션 계산 후 재생을 통해 링크의 실제 이동 방향이 의도한 대로인지 확인합니다.

Step4-5: 제한각·스톱 구현(메이트)

- Motor 자체 제한 × → Mate로 제한각 설정
- LimitAngle: 0°-90° 예
- 스톱 충돌 방지: Soft stop 램프 병행

Step4-6: Linear 모터(트롤리) 예

- Type: Linear, 방향 = 트롤리 진행축
- Speed: 0.5 m/s(예) → 단위 m/s 설정
- 경로: Path Mate 사용 시 방향 일관성 ↑

Step4-7: 속도 프로파일 실무화



Ramp up

- 0-0.7s
- 부드러운 가속
- 충격 완화



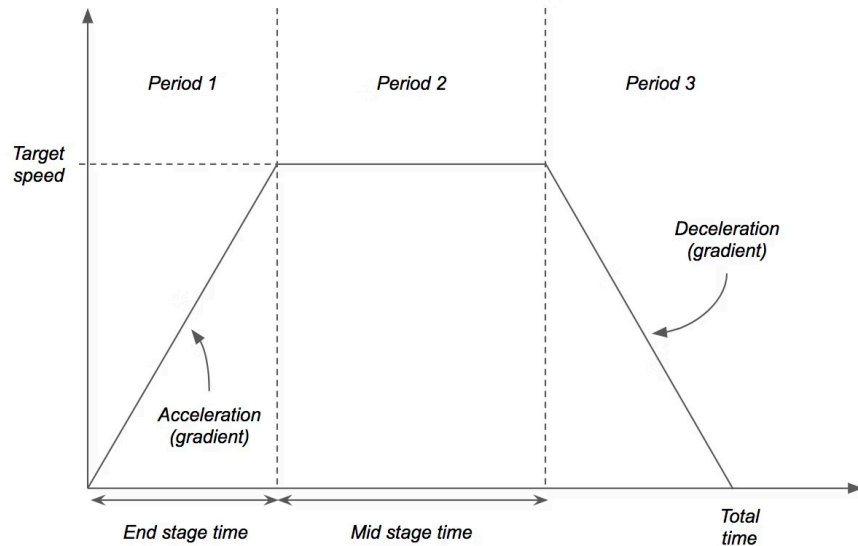
Cruise

- 0.7-4.3s
- 일정 속도 유지
- 에너지 효율 ↑




Ramp down

- 4.3-5s
- 부드러운 감속
- 울산 조선소 벤치마크: 급가감속 ×



Step4-8: 결과 확인·기록

- 재생 , 결과 스크러빙 $\leftarrow \rightarrow$ 로 확인
- 모터 속도표시: 트랙 값 검증
- 스냅샷/짧은 MP4 내보내기

MP4 내보내기 시 권장 설정: 1280×720 해상도, 30fps, 중간 압축률

진행점검: 체크리스트

환경 설정

- SolidWorks Motion 애드인 체크 완료?
- Motion Analysis 타입 선택?
- 시간 설정: 0-5s 구성?

모터 설정

- Motor 대상 축·방향 올바름?
- 속도 단위 일치(RPM/m/s)?
- 프로파일 타입 설정?

안전 제한

- Limit Mate 적용 여부?
- Soft stop 램프 설정?
- 시뮬레이션 재생 확인?

트러블슈팅 빠른 해결

- 계산 실패: 과도 속도/간섭 \Rightarrow 속도 \downarrow , 구속 재확인
- 모터 무효: Animation 타입 $\times \rightarrow$ Motion Analysis 선택
- 비정상 진동: 중복 구동 \times , Mate 충돌 확인

문제 발생 시 단계적으로 접근하세요: 속도 낮추기 \rightarrow 구속조건 확인 \rightarrow 모터 재정의

현장 적용: 갠트리 모터 조건 매핑

갠트리 크레인 실제 적용 사례


- 거제: 트롤리 0.4–0.6 m/s, 부하 시 램프↑
- 호이스트: 저속 정밀, 상하 제한 엄격
- 울산 벤치마크: 급정지 회피, 소프트 스톱

세션 2: 4-bar 링크 기구 운동 해석 실습

- 모터 설정 완료 → 4-bar 링크 시뮬레이션 실행 ⇒ 궤적/간섭 확인
- 용접 로봇 아암 4절 링크 적용: 경로 추적 + 안전거리 확보
- 결과 분석: 궤적, 각도 범위, 안전성 검증

SolidWorks Motion Analysis 모드 설정

- 4-bar링크.sldasm 열기 → Motion Study 탭 표시 = 준비 완료
- Motion Type = Motion Analysis (애드인 ON) ※ Basic Motion x

 Animation 모드에서는 물리 기반 시뮬레이션이 불가능합니다. 반드시 Motion Analysis 타입을 선택하세요!

구동 모터 추가 및 속도 설정

- Motor 추가: 구동 핀 선택 → 회전(RPM) 입력
- 예시: 30rpm = 0.5rps → $180^\circ/\text{s}$ ⇒ 2s/회전

모터는 메커니즘의 구동력을 제공하는 핵심 요소입니다. 적절한 속도와 방향 설정이 중요합니다.

시뮬레이션 시간 및 프레임 설정

- Properties(톱니바퀴) → Total time=4s + FPS=60
- Accuracy=Medium → 간섭 체크 전 High ↑


시뮬레이션 시간과 프레임 레이트는 결과의 품질과 계산 시간에 직접적인 영향을 미칩니다.

기구학 해석을 위한 조건 설정

- Kinematics 실습: 중력/접촉 OFF \Rightarrow 속도 \uparrow , 결과 단순화
- Dynamics(3교시): 중력/접촉 ON \rightarrow 토크/충돌 분석 예고

기구학 단계에서는 운동 경로와 범위에 집중하기 위해 중력과 접촉 조건을 비활성화합니다. 동역학 해석에서는 이러한 물리적 요소를 포함하여 더 현실적인 결과를 얻을 수 있습니다.

시뮬레이션 계산 실행

-  계산 실행 → 초록바 100% = 해석 성공
- 보기 고정: 등각뷰 저장(Spacebar) ⇒ 재생 일관성

계산이 성공적으로 완료되면 녹색 진행 막대가 100%에 도달하고, 시뮬레이션을 재생할 준비가 됩니다.

애니메이션 재생 및 저장

- 재생 속도 0.5x/1x/2x 조절 → 구간 관찰
- Save Animation... (mp4) ⇒ 리뷰/공유

애니메이션을 저장하면 다른 사람들과 쉽게 공유하고 시뮬레이션 결과를 문서화할 수 있습니다.

궤적 추적용 기준점 생성

- Coupler 면 스케치 점 추가 = 궤적 기준점
- 점 이름: P_cplr → 선택/관리 용이

기준점은 메커니즘의 특정 부분(예: 용접 토치 끝)의 이동 경로를 추적하는 데 사용됩니다.

기준점 궤적 추적 설정

- Trace Path: 대상=P_cplr → 색=청록, 두께=2px
- Keep trace ON ⇒ 사이클 누적 경로

Trace Path 기능은 메커니즘 작동 중 특정 점의 이동 경로를 시각화하여 설계 검증에 도움을 줍니다. 특히 용접 토치나 공구의 경로 확인에 유용합니다.

용접 토치 경로 정확도 검증

- 말단 핀/토치 팁 점 지정 → Trace Path 2
- 비드 스케치 vs 경로 오차 $\Delta \leq \pm 5\text{mm}$

용접 토치의 궤적이 목표 비드 라인과 얼마나 일치하는지 확인하여 용접 품질을 예측할 수 있습니다.

링크 회전 각도 범위 분석

- Results and Plots → Displacement(Angle): 링크B@핀1
- $\theta_{\min} \sim \theta_{\max} \Rightarrow$ 범위 OK? vs 간섭 위험

각 링크의 회전 범위를 분석하여 기구 설계의 한계와 간섭 가능성을 평가할 수 있습니다.

안전거리 측정 및 검증

- 더미 블록(선체/지그) 스케치 → d_{min} 측정
- $t=1.0/1.5/2.0s$ 샘플링 ⇒ $d_{min} \geq 1000mm$

안전거리는 작업자 보호와 장비 충돌 방지를 위한 핵심 요소입니다. 조선소 안전 규정에 따라 최소 1m의 안전거리를 확보해야 합니다.

정적 간섭 검사 실행

- Evaluate→Interference Detection 실행(정지 프레임)
- 키프레임(0/90/180/270°) ⇒ 간섭 0건 목표


키프레임 위치에서의 간섭 검사는 전체 움직임에 대한 완전한 검증은 아니지만, 주요 위치에서 빠르게 문제를 확인할 수 있습니다.

동적 접촉력 분석 예시

- Motion Analysis: Contact 추가(링크↔지그) → Low stiffness
- 접촉력 피크 ↑ ⇒ 충돌 후보 구간 표시

접촉력 분석을 통해 링크와 주변 구조물 간의 동적 상호작용을 파악하고 잠재적 충돌 위험을 식별할 수 있습니다. 이 분석은 나중에 3-4교시 Dynamics 세션에서 더 자세히 다룰 예정입니다.

모터 속도 프로파일 비교

- Motor: Constant vs S-curve → 위치 동일, 시간만 변화
- 30rpm $\pm 10\%$ $\Rightarrow T=2.0s$  1.8/2.2s

기구학적으로 경로 형상은 속도 프로파일과 관계없이 동일하지만, 시간에 따른 위치와 가속도 특성은 크게 달라질 수 있습니다.

반복성 검증 및 안정성 확인

- Total time=4s, Keep trace ON → 패턴 반복성 확인
- 최대 변위 사이클 간 $\pm 2\%$ 이내 ⇒ 모델 안정

두 사이클 이상의 시뮬레이션을 통해 궤적의 반복성을 확인하면 모델의 안정성을 검증할 수 있습니다.

Motion Study 버전 관리

- Motion Study 복제: v1_baseline → v2_profile
- 변경점 로그 = 속도, Trace 색, 시간 ⇒ 재현성 ↑

여러 설계 옵션을 비교하거나 파라미터 연구를 수행할 때 체계적인 버전 관리가 중요합니다.

실습 완료 체크리스트

- 시뮬레이션 설정 완료

Motion Analysis 타입 설정

모터 설정: 30 RPM, 적절한 방향

시간 설정: 4초, 프레임 레이트: 60fps

- 궤적 분석 완료

Trace Path 설정

경로 정확도 검증

각도 범위 확인

- 애니메이션 생성 완료

시뮬레이션 계산 성공

움직임 검증 및 재생

MP4 형식으로 저장

- 안전성 검증 완료

안전거리 측정: $d_{min} \geq 1000\text{mm}$

간섭 체크: 0건

반복성 확인

트러블슈팅 가이드

모터 축 선택 오류

- 증상: 모터가 작동하지 않거나 예상치 못한 방향으로 회전
- 해결: 축/면/엣지 선택 재확인, Selection Filter(F5) 활용

서브어셈블리 문제

- 증상: 링크가 움직이지 않음
- 해결: 서브어셈블리를 Rigid에서 Flexible로 전환


계산 오류

- 증상: 시뮬레이션 계산 실패 또는 비정상 종료
- 해결: 속도 감소, 구속조건 충돌 확인, 간섭 요소 제거

대형 어셈블리 성능 최적화

- 그래픽 품질 ↓ + Trace 수 ↓ ⇒ 계산 속도 ↑
- 대형 어셈블리: SpeedPak/경량 모드 ON → 안정성 ↑

대형 어셈블리 작업 시 성능 최적화는 효율적인 작업 흐름을 위해 중요합니다.

 모션 해석에 직접 관련된 부품만 상세히 표현하고 나머지는 단순화하는 것이 좋습니다.

삼성중공업 현장 적용 사례

- 골리앗/갠트리 접근 용접: 경로 일정성 ⇒ 비드 품질 ↑
- 안전 기준: $a_{max} \leq 0.5m/s^2$, $v \leq 2m/min$ 참조

항목	기준값	목적
최대 가속도	0.5 m/s ²	장비 보호, 진동 최소화
최대 속도	2 m/min	작업자 안전, 정밀 제어
최소 안전거리	1000 mm	충돌 방지, 작업자 보호

다음 세션 학습 계획

01

세션 3: 슬라이더-크랭크 비교

- 4-bar vs 슬라이더-크랭크 직선도 비교
- 각 메커니즘의 장단점 분석
- 용도별 최적 선택 기준

02

세션 4: 동역학 해석 기초

- 중력 및 접촉 조건 활성화
- 속도/가속도 플롯 생성 및 분석
- 안전성과 성능의 정량적 평가

03

실습 및 과제

- 슬라이더크랭크.sldasm 파일 활용
- 서로 다른 속도 프로파일로 두 가지 설계안 비교
- 결과 레포트 작성 및 발표

다음 세션에서는 지금까지 배운 내용을 바탕으로 더 복잡한 메커니즘과 동역학 해석으로 진행합니다.