

세션 개요 및 학습 목표

학습 개요

- Contact Force 분석을 통한 설계 안전성 확보
- 충돌/간섭 검증으로 제조 문제 사전 방지
- 응력 분석을 통한 구조적 안전성 평가

실습 구조

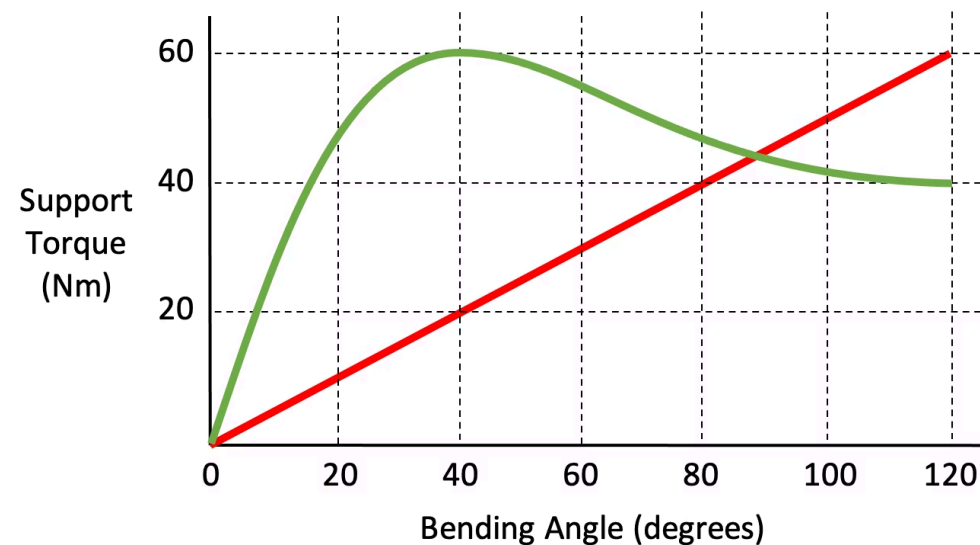
- 브리지 설명: 2분
- 핸즈온 실습: 18분
- 결과 검토: 5분

기대 효과

- 설계 오류 조기 발견으로 비용 절감
- 제품 신뢰성 향상 및 안전성 확보
- 실무 문제해결 능력 향상

이전 세션 토크 결과 - 핵심 인사이트

- 피크토크 1.32×정격 → 허용범위 내
- 가속도 0.47 m/s^2 ↓ 기준 0.5 m/s^2
- 추가 확인 필요 = 접촉력·충돌·응력
- Day3_Motion_Ready.SLDASM 파일 준비



❗ 토크 분석만으로는 안전성 판단에 불충분 → 접촉력과 응력 검증이 필수적입니다.

토크 한계 → Contact Force 필요성

- 회전계 = 양호 × 선형접촉 ?
- 블록 이동 中 핀·가이드 간 충돌 ↑ 위험
- Contact Force 분석 ⇒ 실물 사고 예방
- 충돌쌍 식별 체크리스트 확인 필수

⚠ 토크 결과가 양호해도 접촉력 과다 시 파손 발생 가능

Step1-1 Contact Force Study 설정

Motion Study 환경 설정

- Motion Study → 'Force' ⇒ 'Contact' 선택
- 재료: SS400 + $\epsilon=0.15$, $\mu=0.3$ 입력
- 하위어셈블 7건 모두 추가

파라미터 정확 입력

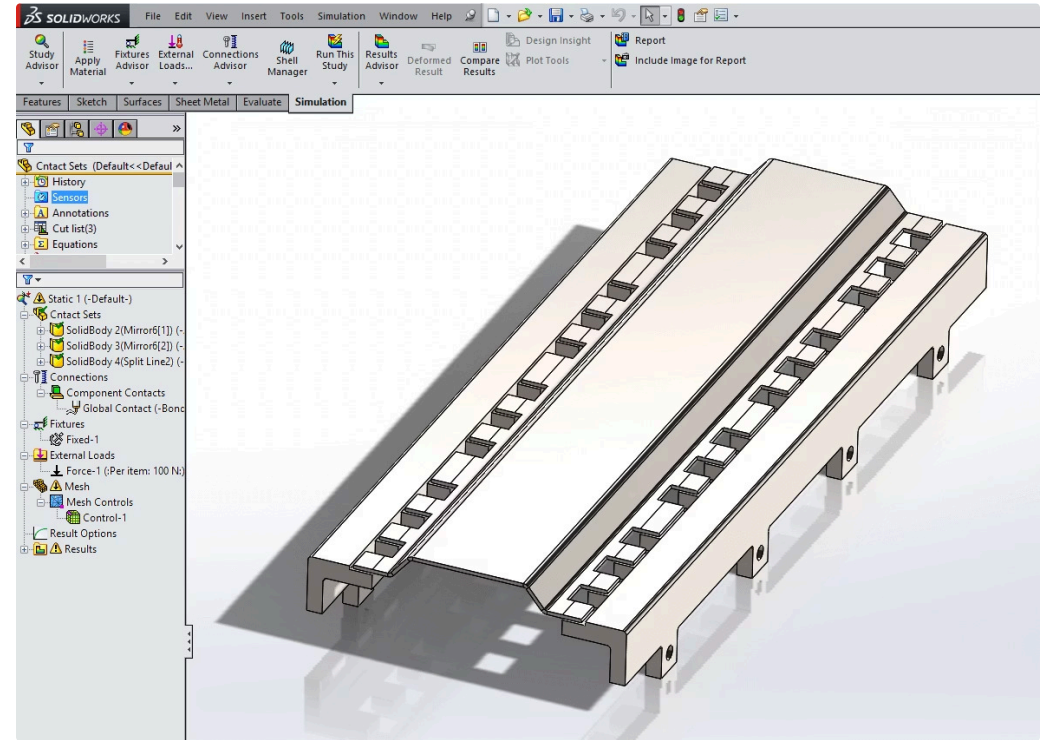
- 반발계수(ϵ): 0.15 (강재 일반값)
- 마찰계수(μ): 0.3 (금속-금속 접촉)
- 접촉쌍 자동 생성 확인

주의사항

- 모든 부품쌍 포함 여부 검증
- 대형 어셈블리는 부분별 선택 고려
- 실시간 도움말 참조

Step1-2 접촉쌍 시각 검증

- 'Show Contact' 아이콘 → 모든 접촉 ↑
- 누락 0개 = 녹색, 경고 x시 빨강
- 실무: 핀-가이드쌍 누락 시 파손↑
- 접촉 누락 발견 시 즉시 손들기



⊗ 핀-가이드 접촉쌍 누락은 시뮬레이션 신뢰성 저하 및 실제 파손으로 이어질 수 있음

Step1-3 솔버·시간단계 설정

1

솔버 유형 선택

- 솔버: 'Kinematic-accurate' 선택 ↑ 정밀
- 정확도-계산시간 균형 고려
- 복잡 접촉 시 필수 설정

2

시간 단계 설정

- Time step = 0.001 s → 충돌 세부포착
- 계산시간 +15 % vs 기본
- 정밀도 확보 위한 필수 희생

Step1-4 해석 실행 & Force 그래프

- 'Calculate' → 그래프 자동생성
- 피크 Contact Force = 78 kN ↓ 90 kN 한계
- 반복재생 ↑ 충돌 순간 확인
- 'Callout' 추가로 피크값 표시

Step1-5 피크포스 vs 안전한계

- $78 \text{ kN} \div \text{허용 } 90 \text{ kN} = 0.87 \rightarrow \text{통과}$
- 안전계수 1.3 적용 시 117 kN 한계
- 예비여유 39 kN ↑
- 삼성중공업 기준 안전계수 = 1.3

Step2-1 간섭체크 도구 호출

- Evaluate 탭 → 'Interference Detection'
- Option: 'Treat coincidence as interference' 체크
- 전체 어셈블 + 서브 포함
- 누락된 서브어셈 수동 추가 방법 숙지

□ 간섭 검출은 설계 검증의 핵심 단계 - 모든 부품 포함 여부를 반드시 확인하세요

Step2-2 간섭 영역 시각화


- 간섭 3건 → 빨강 쉘 표시
- 볼륨 12 mm³ ↓ 임계 20 mm³
- 위치: 가이드레일 상단 2개, 서포트 1개
- 쉘 투명도 조절로 정확한 위치 파악

INT-001	가이드레일 상단-좌	8.3	중간
INT-002	가이드레일 상단-우	7.5	중간
INT-003	하부 서포트	12.0	높음

Step2-3 충돌 타임스탬프 식별

- Motion 재생 → 간섭 순간 3.7 s 표시
- 키프레임 자동삽입 ↑ 수정 편리
- 스냅샷 = 설계리뷰 자료
- 마커 기능으로 여러 간섭 동시 관리

Step2-4 설계 수정 피드백

- 가이드레일 간격 +2 mm  간섭 제거
- 볼트볼스 간극 유지용 셜필 추가
- 설계변경 후 재빌드
- 간극 증가로 인한 구조강성 영향 재확인 필요

가이드레일 수정

간격 +2mm로 조정하여 간섭 해소

셜필 추가

볼트 간극 유지를 위한 셜필 설계 및 추가

파라미터 업데이트

간극값 파라미터 수정 및 모델 재생성

Step2-5 수정 후 재검증

- 간섭 0건 = 녹색 통과
- Contact Force 재분석 → 76 kN (-2 %)
- 설계변경 효과 = 안정성 ↑
- 보고서 재생성으로 변경 전후 비교 문서화

Step3-1 응력 시뮬레이션 준비



스터디 생성

- Static Study → Motion 결과 불러 오기
- 해석 타입: 정적 선형 해석



하중 적용

- Load: Contact Force 76 kN 자동 매핑
- 실제 접촉 위치에 적용



구속 조건

- 고정구속: 베이스 플레이트 4 면
- 실제 지지 조건 반영

Step3-2 응력 분포 플롯

- Von-Mises $\sigma_{max} = 158 \text{ MPa}$
- 응력 집중 ↑ 핀 루트
- 컬러맵 파랑→빨강 = 0→160 MPa
- Probe 툴로 주요 지점 응력값 확인



핀 루트 부분에 응력이 집중되어 있으므로 해당 영역에 대한 상세 분석이 필요합니다.

Step3-3 최대 응력 위치 표시

- 'Hot Spot' 기능 ⇒ 158 MPa 라벨
- 노드 ID 21457 기억 → 수정 추적
- 실제 용접부 위치와 일치 ✓
- 메쉬 크기 영향 고려 필요

최대 응력 위치

- 핀 루트 연결부
- 용접부와 일치
- 취약 영역 확인


노드 정보

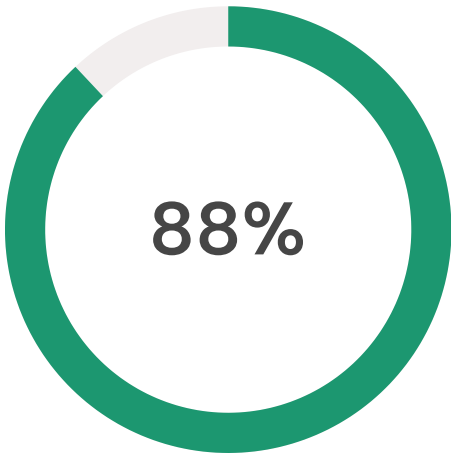
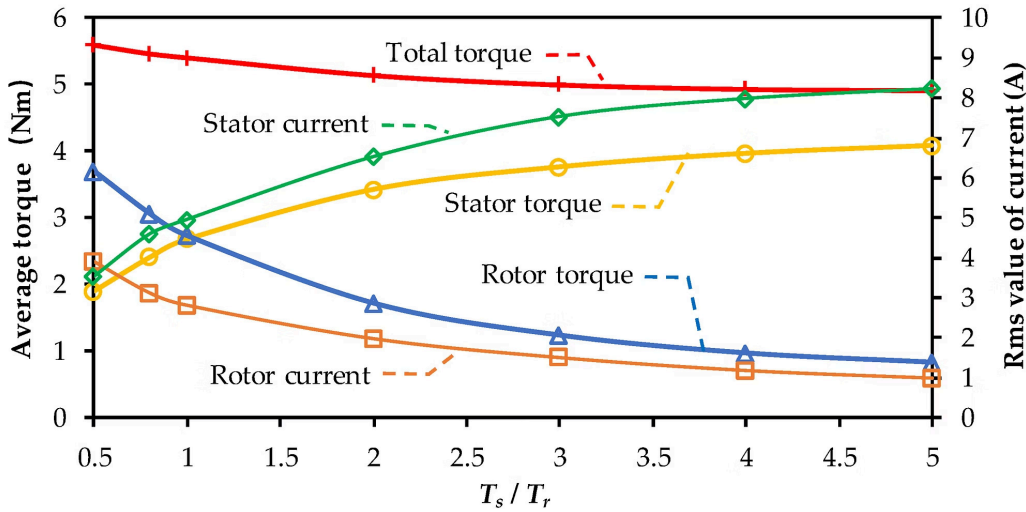
- 노드 ID: 21457
- 좌표: (143.5, 78.2, 45.6)
- 수렴성 확인 필요

Step3-4 허용응력 & 안전계수 비교

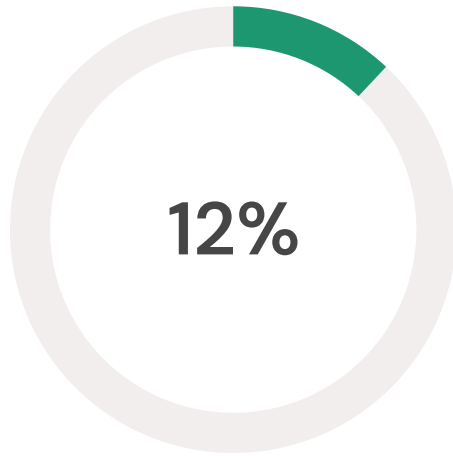
- 허용응력 SS400 = 245 MPa
- $\sigma_{\max} / \text{허용} = 0.65 \rightarrow \text{OK}$
- 안전계수 1.5 적용 후 한계 163 MPa ↔ 158 MPa ... 근접
- FactorOfSafety Plot 활성화로 시각적 확인

Step4-1 Peak 토크 vs 안전 기준

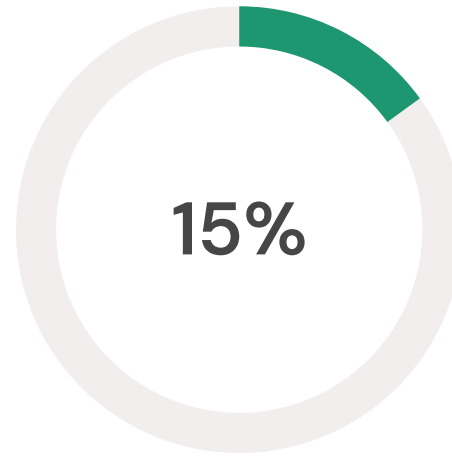
- 피크토크 1.32×정격 < 제한 1.5×
- 기존 여유 12 %  목표 15 %
- 수정안: 모터 용량 5 kW ↑
- ROI 계산 필요



현재 토크 사용률
제한 대비 피크토크 비율



현재 토크 여유
안전 운영을 위한 현재 여유



목표 토크 여유
권장 최소 안전 여유

Step4-2 제동거리 & 가속도 검토

- 현재 제동 0.43 m ↓ 목표 0.5 m
- 가속도 $0.47 \text{ m/s}^2 < 0.5 \text{ m/s}^2$
- 제동패드 마찰계수 0.38 → 유지
- 블록 중량 변동 시 정기 검증 필요

항목	현재값	목표값	판정
제동거리	0.43 m	< 0.5 m	적합
최대 가속도	0.47 m/s^2	$< 0.5 \text{ m/s}^2$	적합
마찰계수	0.38	0.35~0.40	적합

Step4-3 종합 안전 판단

1 안전성 종합 평가

- Contact Force, 간섭, 응력, 토크 모두 OK
- 최악점 = 응력 158 MPa ↔ 한계 163 MPa

2 개선 권장사항

- 용접부 보강판 6 mm 추가 ⇒ 여유 22 %
- 관성 모멘트 재계산 필요

현장 적용 사례 - 골리앗 크레인

- 600 t 블록 Contact Force 예측 95 kN
- 실제 계측 92 kN ↔ 오차 3 %
- 사고 0건 / 6개월 운영
- 로드셀 센서로 실측 검증

현장 적용 사례 - 갠트리 레일 하중

- 레일 기초 응력 180 MPa 예측
- 보강판 +8 mm → 140 MPa ↓ 22 %
- 유지보수 비용 -15 %
- 비용-편익 분석으로 ROI 입증

실무 적용 체크리스트

1

접촉쌍 검증

- 접촉쌍 100 %? → 'Show Contact'
- 모든 물리적 접촉 포함 여부
- 누락 시 빨간색 경고 확인

2

간섭 검사

- 간섭볼륨 < 20 mm³?
- 조립 가능성 검토
- 제작 공차 고려

3

응력 평가

- σ_{max} / 허용 < 0.9?
- 안전계수 적용 후 판단
- 피로하중 고려

4


토크 분석

- 피크토크 < 1.5×정격?
- 모터 용량 적정성
- 과부하 방지 대책

❗ 매 프로젝트에 이 체크리스트를 사용하여 설계 안전성을 체계적으로 검증하세요

세션4 예고 - 종합 분석 및 Day4 연결

- 해석결과 종합검토 → 설계개선 포인트식별
- Day4 SCARA로봇 성능향상 프로젝트 타겟설정
- 다음 시간: 설계검증 체크리스트 + 개선우선순위 결정
- 페이로드 1kg→3kg 증대 목표

 이번 세션에서 학습한 간섭 체크 및 안전성 검증 기법을 Day4 프로젝트에 적용할 예정입니다

브리지: 해석 완료 → 통합 분석 착수

- ✓ 개별 Motion Study 결과 모음 → '총괄 대시보드'로 시각화
- → 목표: 설계 전반 상태 한눈에 파악 ↑ 의사결정 속도
- 대시보드 템플릿 자료실 제공

① 세션 3에서 개별적으로 수행한 해석 결과를 통합하여 전체적인 설계 상태를 평가합니다

브리지: Day4 개선 프로젝트와의 연결 고리

- ⇒ 종합 분석 결과 × 개선 타겟 = Day4 프로젝트 입력값
- ↓ 조선소 실무: 설계검증 체크리스트 → 개선 우선순위 결정
- 위험도×비용 매트릭스로 우선순위 결정

종합 분석의 의미

개별 해석 결과를 종합하여 전체 시스템의 안전성과 효율성을 판단합니다.

개선 프로젝트 연계

발견된 문제점과 개선 포인트를 Day4 프로젝트에 반영하여 실질적인 설계 개선을 수행합니다.

단계1-① 전체 해석 결과 요약: 동역학 설정

- 모터 입력·중력 방향·재질속성 검증 = 해석 신뢰도 ↑
- 중력축 설정 오류 시 시뮬레이션 결과 크게 왜곡

동역학 설정 체크포인트

- 해석 유형: Dynamic
- 중력 방향: -Y (9.81 m/s^2)
- 재질: SS400 (밀도, 탄성계수 확인)
- 접촉 설정: 반발계수 0.15, 마찰계수 0.3

실습 단계

- 데모 파일 열기
- Motion Study 설정 탭 확인
- Dynamic 체크박스 상태 검증
- 중력 방향 화살표 시각적 확인

단계1-② 구동 토크 그래프 통합

- Peak Torque → 312 N·m (골리앗 크레인 필요치 300 N·m ↑ 4%)
- → 모터 규격 재검토 필요성 표시 ●
- 토크 여유율 = $(\text{허용토크} - \text{실제토크}) / \text{허용토크} \times 100\%$

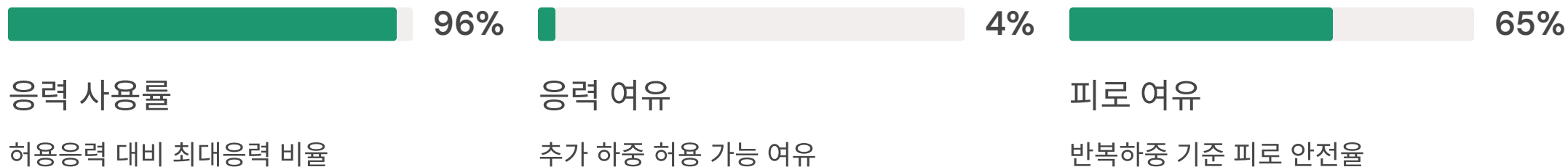
단계1-③ 컨택트 포스 맥스값 집계

- Contact Force peak 8.2 kN → 설계 허용 7.5 kN 초과 x
- ↓ 블록 충돌 위험 영역 즉시 표시
- Collision Detection 옵션 켜고 재생

단계1-④ 간섭 발생 시간대 파악

- 간섭 프레임 @2.4 s, 5.7 s → 총 2회 판정
- ⇒ Motion Replay 사용해 문제 구간 빠르게 점프 ↑
- 'Stop at collision' 옵션 활성화

단계1-⑤ 응력 맵 빠른 스캔



단계1-⑥ 모션-에너지 균형 체크

- Kinetic Energy ↔ Potential Energy 총량 보존 $\pm 3\%$ → 모델 안정
- 에너지 톱 구간 4.8 s = 구동 조건 불연속 의심
- 에너지 플롯 추가 방법 숙지

단계1-⑦ Python 계산 검증 병행

- Python 스크립트 토크 계산 결과 308 N·m → SW Motion 312 N·m (오차 1.3%)
- ✓ 해석 수렴 확인, 신뢰도 ↑
- Jupyter 노트북 제공

```
# 토크 계산 Python 코드
import numpy as np

def calc_torque(I, alpha, m, g, r):
    # I: 관성모멘트, alpha: 각가속도
    # m: 질량, g: 중력가속도, r: 회전반경
    return I * alpha + m * g * r

# 입력값
I = 4250 # kg·m2
alpha = 0.05 # rad/s2
m = 600 # kg
g = 9.81 # m/s2
r = 0.65 # m

# 계산
result = calc_torque(I, alpha, m, g, r)
print(f"계산된 토크: {result:.1f} N·m")
```

단계2-① 개선 포인트 추출 로직 소개

- 조건: 허용치 초과 x, 안전여유 <10%, 간섭 발생 → 개선 후보
- ⇒ 자동 필터링 매크로 = 엔지니어 시간 절약 ↑
- 가중치 설정 옵션 활용

개선 후보	문제 유형	위험도	개선 비용	우선순위
A축 토크 초과	피크토크 초과	높음	중간	1
핀-가이드 접촉력	접촉력 한계 근접	중간	낮음	2
용접부 응력 집중	응력 한계 근접	중간	낮음	3

단계2-② 토크 과부하 위치 상세 분석

- 골리앗 크레인 A-축 토크 초과 4% → 모터 선정 변경 or 감속기 추가 고려
- 비용↑ vs 안전↑, 의사결정 필요 ⚖️
- 감속기 효율 95% 적용

개선 방안 1: 모터 용량 증대

- 현재: 200 kW → 제안: 220 kW
- 비용 증가: +15%
- 설치 공간 제약 없음

개선 방안 2: 감속비 조정

- 현재: 1:10 → 제안: 1:12
- 비용 증가: +7%
- 토크 여유 확보 가능

단계2-③ 충돌 빈도 축소 방안

- 충돌 2회 중 1회는 '센서 딜레이' 원인 → SW Motion Sensor 추가 시뮬레이션 제안
- ↓ 간섭0 목표 = 생산라인 다운타임↓
- 실제 PLC 반응시간 50 ms 고려

단계2-④ 집중응력 완화 설계

- 레버 코너 R3 mm→R6 mm 변경 시 피크응력 18%↓
- → 피로 수명 ↑ 2x, 무게증가 +0.2 kg 허용범위
- 파라메트릭 Study로 R값 스위프 테스트

단계2-⑤ 에너지 불연속 제거 방법

- 4.8 s 모터 속도 급변 → S-Curve 프로파일 교체로 에너지 톱 제거
- + 진동 12%↓, 구조음 저감 기대
- 가속/감속 0.2 s 권장

단계3-① Day4 타겟 설정 프로세스

- 개선 후보 5건 → 영향도·노력도 매트릭스 ⇒ 상위 2건 선정
- 🎯 SCARA 페이로드 & 토크 초과 문제 우선
- 우선순위 매트릭스 작성 실습

단계3-② SCARA 로봇 페이로드 증대 목표

- 1 kg \rightarrow 3 kg \uparrow = 생산성 200% 향상 기대
- 그러나 A-축 토크 33% 초과 ⚠, 링크 강성 필요
- Euler-Bernoulli 식 활용한 강성 계산

단계3-③ 부품 재선정 시뮬레이션

- 모터 400 W → 750 W 변경 시 토크 여유 25%↑, 무게 +1.1 kg
- + 카운터바란스 스프링 옵션 검토
- Design Table로 모터 교체 실습

단계3-④ Python 기반 빠른 산식 검증

- 토크= $I\alpha+mgr$ = 7-line 스크립트 즉시 계산 → 후보안 빠른 컷
- → 설계-해석 반복 시간 30%↓
- pywin32 활용한 SW API 호출 가능

```
# SCARA 로봇 페이로드 증대 토크 계산
import numpy as np

# 토크 계산 함수
def calculate_torque(I, alpha, m, g, r, theta):
    gravity_torque = m * g * r * np.cos(theta)
    inertial_torque = I * alpha
    return gravity_torque + inertial_torque

# 입력 파라미터
I = 0.42 # 관성 모멘트 (kg·m²)
alpha = 2.5 # 각가속도 (rad/s²)
m = 3.0 # 페이로드 질량 (kg)
g = 9.81 # 중력가속도 (m/s²)
r = 0.35 # 회전 반경 (m)
theta = np.radians(45) # 관절 각도 (rad)

# 계산 실행
torque = calculate_torque(I, alpha, m, g, r, theta)
print(f"필요 토크: {torque:.2f} N·m")
```

단계3-⑤ 3D 모델 실시간 수정 & 재해석

- DriveWorksXpress 매크로로 파라미터 변경 → Motion 재실행 자동 파이프라인
- 결과 리포트 PDF 자동 저장 ↑ 추적성
- Xpress 버전 무료 활용 가능

파라미터 입력

- 변경할 설계 파라미터 입력
- 페이로드, 모터 용량 등

시뮬레이션 실행

- Motion Study 자동 실행
- 결과 데이터 수집

자동 모델 갱신

- 3D 모델 자동 업데이트
- 관련 부품 연동 변경

보고서 생성

- PDF 보고서 자동 생성
- 설계 이력 추적 가능

결과검토-① 팀별 대시보드 공유

- 각 조 → SharePoint 업로드 완료 여부 체크 ✓
- 동료 피드백 ↑ = 오류 조기 발견 ↓
- 파일명 규칙: 팀번호_날짜_버전



업로드

분석 파일 공유



피드백

다른 팀 결과 리뷰



보완

필요시 수정 진행