

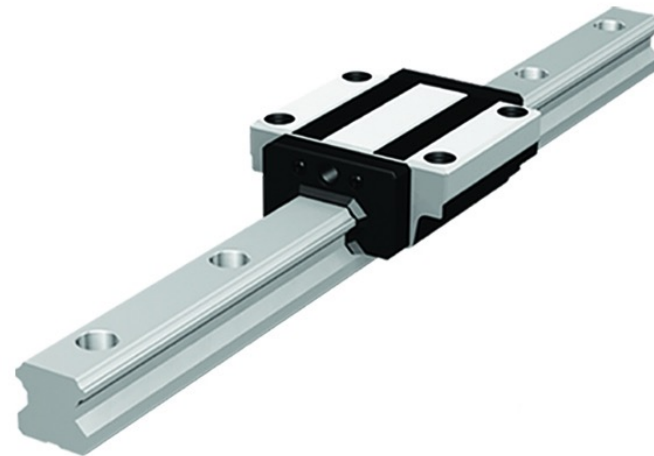
# 3교시:

## 핵심 기계요소 설계 ①: 직선 운동

- 세부 내용: LM 가이드, 볼스크류의 종류 및 특징, 정격 하중, 수명 계산 이론
- 실습: 카탈로그 기반 LM 가이드/볼스크류 선정, SolidWorks를 이용한 직선 구동부 모델링

## 2교시 연결 → 실제 메커니즘

- 2교시 SolidWorks 기초
- 3교시 목표 = LM가이드 + 볼스크류 완전 이해 + 3D 모델링
- 직선운동 3대 요소 = LM가이드 + 볼스크류 + 실린더 완전 구분



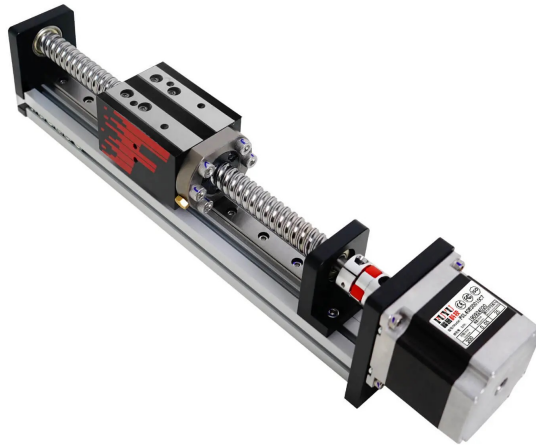
# 직선운동 vs 회전운동: 변환의 비밀

- 자동화 핵심 = 모터 회전운동 → 직선운동 변환 메커니즘
- 변환 방식 2가지 = 기계식(볼스크류) vs 유공압식(실린더)



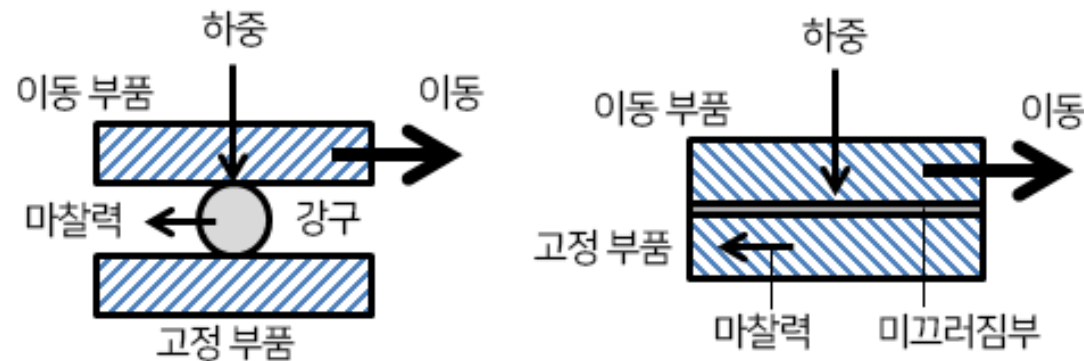
# 직선운동 핵심 구성요소 분석

- LM가이드 = 직선 방향 유지 + 측면 하중 지지 역할
- 볼스크류 = 회전 → 직선 변환 + 정밀 위치 제어 담당



# LM가이드 기초: 슬라이딩 vs 롤링 방식

- 슬라이딩 방식 = 저비용 + 간단 구조, 마찰  $\uparrow$  정밀도  $\downarrow$
- 롤링 방식 = 고정밀 + 저마찰, 비용  $\uparrow$  유지보수 복잡



	롤링방식	슬라이딩방식
마찰 계수 ( $\mu$ )	0.002~0.005	0.1~0.2

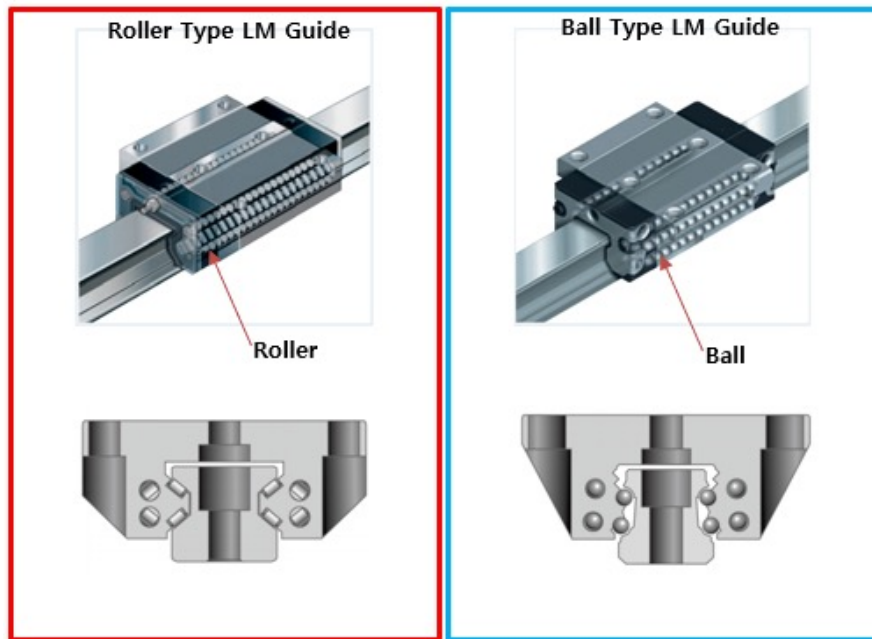
# LM가이드 구조 해부: 레일 + 블록 + 볼

- 레일(Rail) = 직선 경로 제공 + 하중 분산 기능
- 블록(Block) = 이동체 + 볼 수용 + 급유 시스템 내장



# LM가이드 종류: 볼 타입 vs 롤러 타입

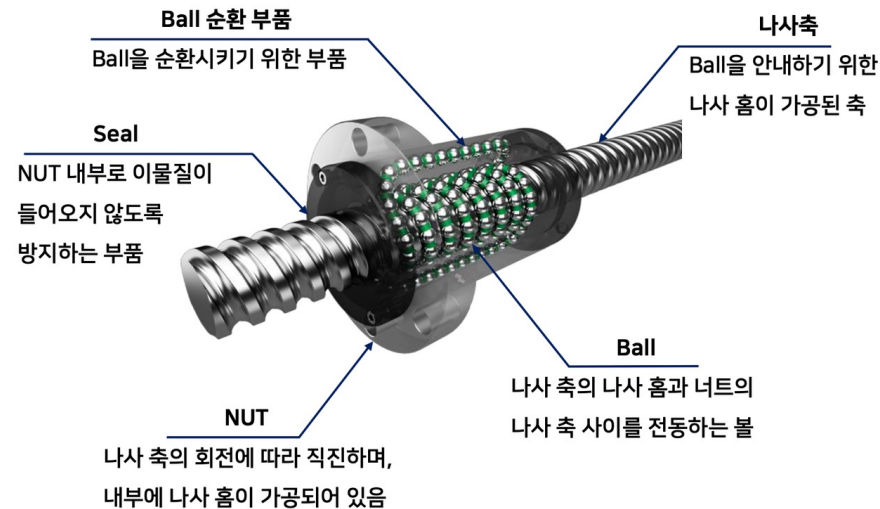
- 볼 타입 = 모든 방향 하중 지지, 조선포 표준 선택
- 롤러 타입 = 높은 하중 용량, 특수 중량물 운반용



특징	볼 타입	롤러 타입
하중 지지 방식	점접촉	선접촉
하중 용량	상대적으로 낮음	높음 (같은 조건에서)
강성 및 정밀도	롤러 타입보다 낮음	높음, 고정밀도 구현 가능
충격하중 및 과부하	취약함	강함, 충격하중에 더 잘 견딤
주요 용도	일반적인 구름 베어링 및 레일	고정밀도와 고강성이 요구되는 리니어 가이드웨이

# 볼스크류 기본 구조: 스크류 + 너트 + 볼

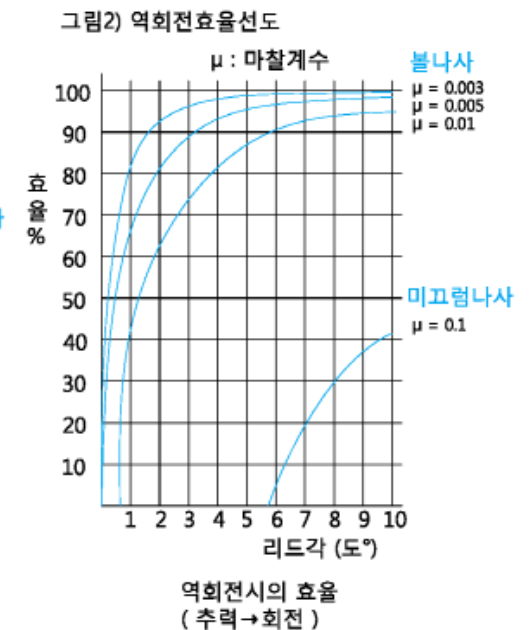
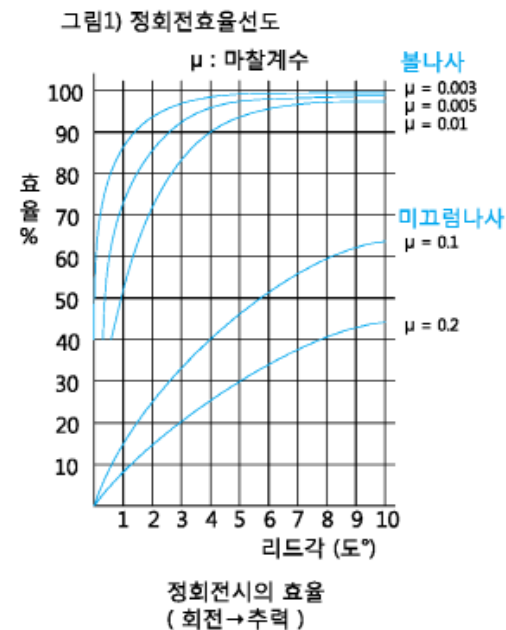
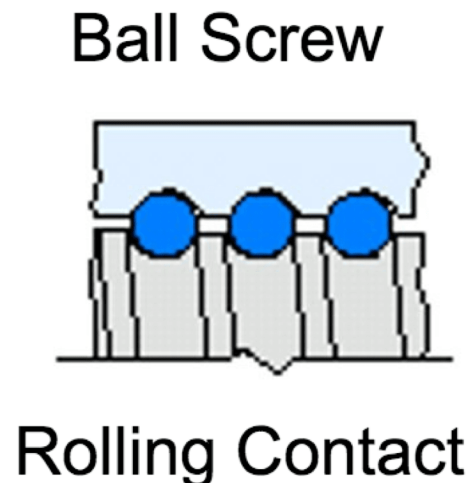
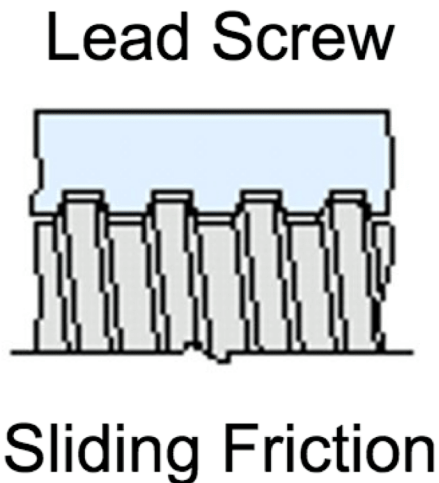
- 스크류 = 나선형 홈 가공 + 정밀 리드 피치 제공
- 너트 = 볼 순환 경로 + 직선운동 출력부 역할





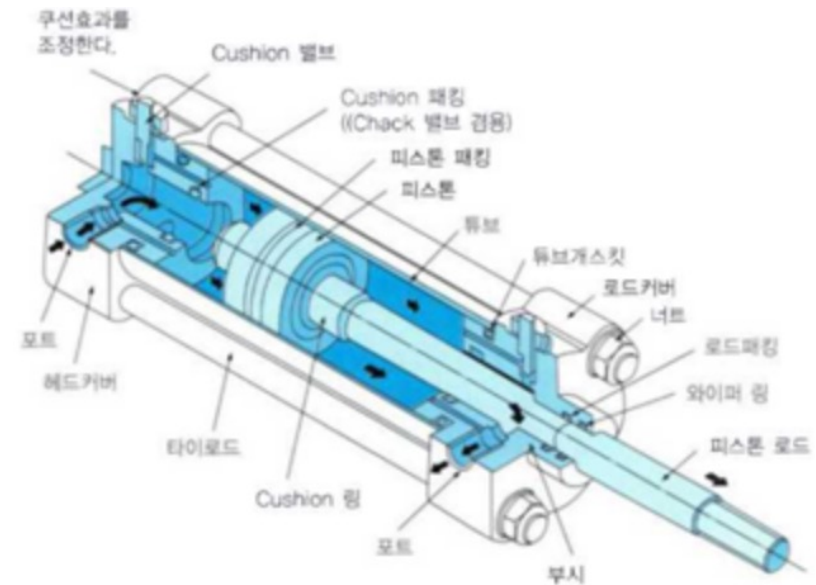
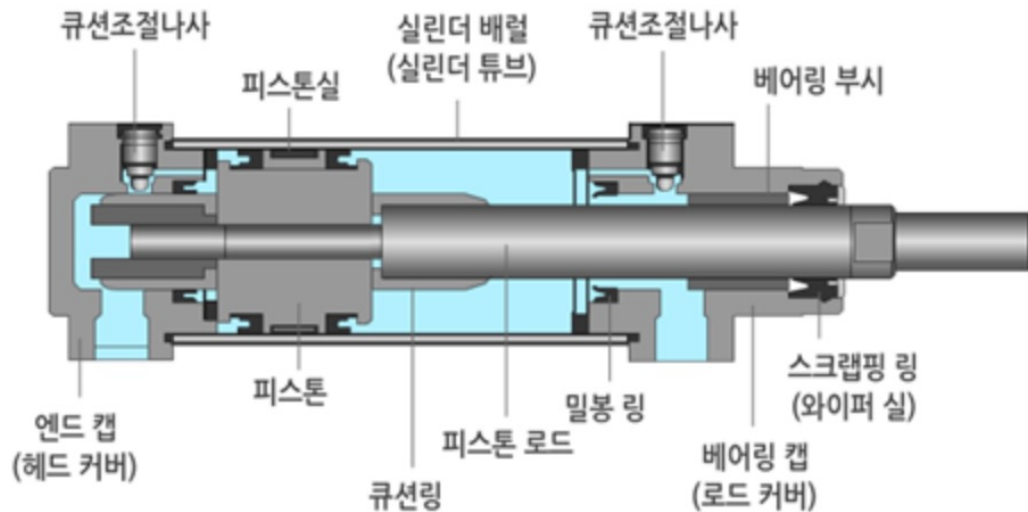
# 볼스크류 vs 리드스크류 비교 분석

- 볼스크류 = 고효율(90%+) + 고정밀, 비용 ↑
- 리드스크류 = 저비용 + 간단 구조, 효율 ↓(30-50%)



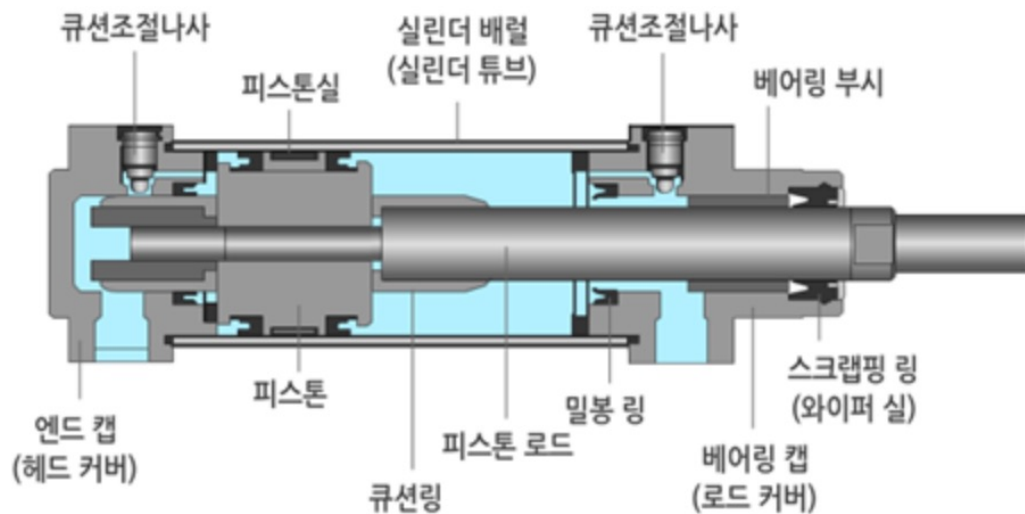
# 공압 실린더 기초: 압축공기 → 직선운동

- 공압 = 빠른 동작 + 간단 제어, 정밀도 제한적
- 조선소 적용 = 클램핑 + 간단 이송 + 안전장치



# 유압 실린더: 조선소 중장비의 핵심 동력

- 유압 = 높은 출력 + 정밀 제어 가능, 시스템 복잡
- 조선소 핵심 = 크레인 + 리프터 + 대형 운반장비



+ 실  
+ 재질 강화

# 조선소 환경 특수성: 부식 방지 코팅 필수

- 염분 + 습도 → 강철 부식 가속, 특수 코팅 필수
- 표준 코팅 = 아연 도금 + 크롬 처리 + 스테인리스 옵션



# 진동 + 충격 환경 대응 설계 요점

- 크레인 + 용접 진동 → 예압 조정 + 댐핑 시스템 필수
- 충격 하중 → 안전계수  $\uparrow$  + 완충 장치 추가 설계



Fig. 1 Rubber tired gantry crane

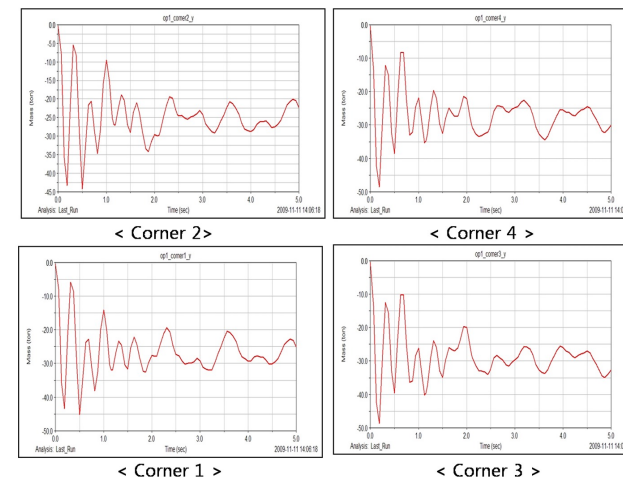
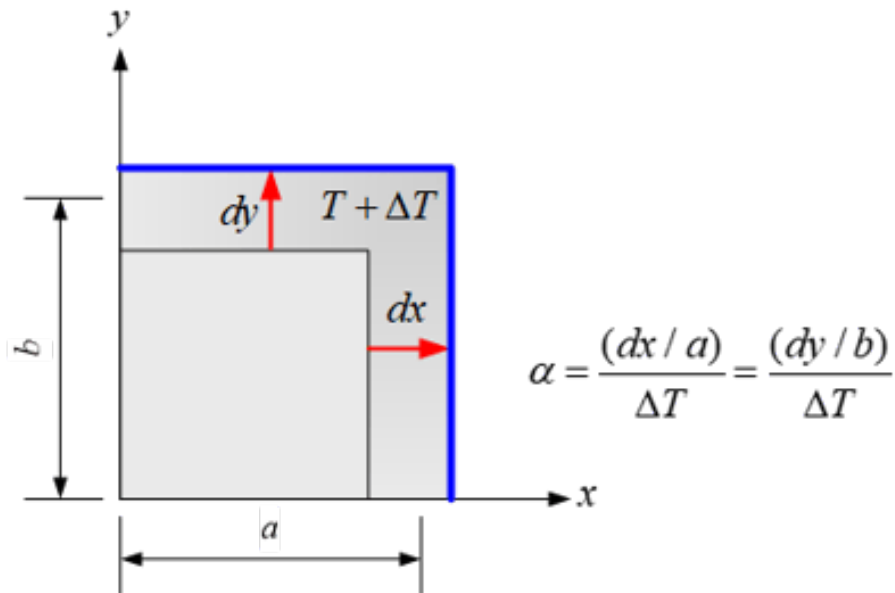


Fig. 9 Load changes in the vertical direction

컨테이너 하역작업 시..., 김정윤, 김진곤 (2014)

# 온도 변화 대응: 열팽창 보상 설계

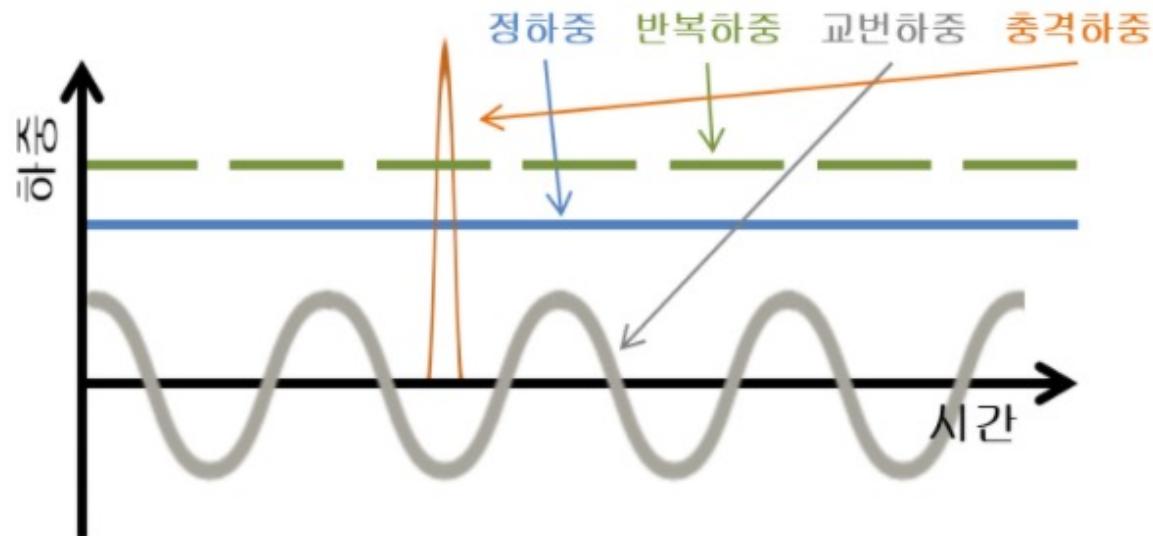
- 조선소 온도 범위 =  $-10^{\circ}\text{C} \sim +40^{\circ}\text{C}$ , 열팽창 계수 고려 필수
- 보상 방법 = 플로팅 지지 + 길이 방향 자유도 확보



철도 레일의 선팽창 계수: 약  $12 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ,  
초기 온도:  $20^{\circ}\text{C}$ , 최종 온도:  $60^{\circ}\text{C}$ 로 가정  
 $40^{\circ}\text{C}$ 의 온도 변화에 대한 레일의 팽창량은  
 $(12 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}) \times 2\text{m} \times (60^{\circ}\text{C} - 20^{\circ}\text{C}) = 0.00096\text{m}$  또는  $0.96\text{mm}$

# 하중 분석 기초: 정적 vs 동적 하중

- 정적 하중 = 중량 + 외력, 계산 간단
- 동적 하중 = 가속도 + 진동 + 충격, 안전계수 ↑ 필요



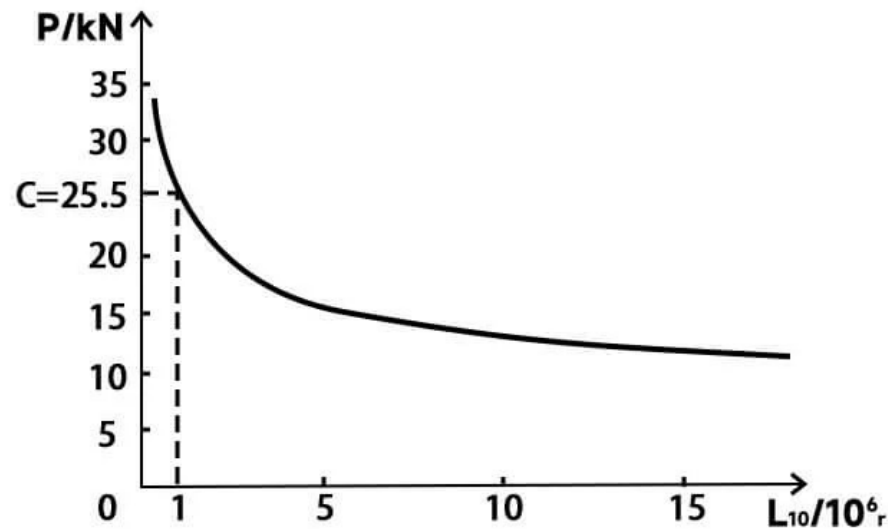
# 안전계수 적용: 조선업 안전 우선 철학

- 조선업 표준 안전계수 = 정적 3.0, 동적 5.0 이상
- 인명 안전 관련 = 안전계수 10.0 이상 적용 권장



# 수명 계산 기초: L10 수명과 실제 운용

- L10 수명 = 90% 제품이 도달하는 최소 수명 기준
- 조선소 목표 = L10 기준 20,000시간 이상 설계



# 세션1 완료: 핵심 이론 정리 + 세션2 예고

- 완료 = 직선운동 3요소 + 조선폰 환경 특성 + 기본 계산 개념
- 세션2 예고 = Excel 실제 계산 + 카탈로그 선정 실습

## 세션2 시작: 이론 → 실무 계산의 도약

- 세션1 완료 = 이론 완전 이해 ✓, 세션2 목표 = Excel 실무 계산 마스터
- 오늘의 미션 = THK 카탈로그 + 삼성중공업 안전계수 → 실제 선정

# Excel 템플릿 구조: 3단계 계산 시스템

- Step 1 = 하중 조건 입력
  - Step 2 = 안전계수 적용
  - Step 3 = 카탈로그 매칭
- 중공업 기준 = 정적 3.0, 동적 5.0, 인명안전 10.0 사전 설정

## Step 1: 조선소 하중 조건 입력 실습

- 예제 조건 = 용접로봇 Z축, 페이로드 50kg, 스트로크 500mm
- 환경 조건 = 진동 2G, 충격 하중  $\times 2$ , 염분 환경 고려

## Step 2: 안전계수 자동 계산 확인

- $=B3 \times 3.0$  (정적)  
 $=B4 \times 5.0$  (동적)
- 결과 = 설계 하중 = 실제 하중  $\times$  안전계수 자동 계산

## Step 3: THK 카탈로그 매칭

- 결과 = HSR15A 추천, 정격하중 9800N > 설계하중 7500N ✓

<https://kr.misumi-ec.com/vona2/detail/221000461747/?Brand=THK1&list=PageCategory>

# LM가이드 수명 계산: L10 20,000시간 검증

- L10 수명 =  $(C/P)^3 \times 100 = (9800/7500)^3 \times 100 = 189\text{시간}$
- 189시간 < 20,000시간 목표  $\rightarrow$  HSR20A로 업그레이드 필요



# 볼스크류 토크 계산 시작: 새로운 워크시트

- Sheet2 = 볼스크류 계산 전용, LM가이드 결과 자동 연동
- 필요 토크 = 축 하중  $\times$  리드 피치  $\div (2\pi \times \text{효율})$

# 볼스크류 사양 입력: THK 표준 모델 기준

- 후보 모델 = THK BNT1605 (직경 16mm, 피치 5mm)
- 효율 90%, 허용 회전수 3000rpm, 좌굴 하중 체크 필요

<https://kr.misumi-ec.com/vona2/detail/221005221061/?Brand=THK1&list=PageCategory>

## 필요 토크 계산 및 모터 용량 결정

- 계산 토크 =  $7500\text{N} \times 5\text{mm} \div (2\pi \times 0.9) = 6.6\text{N}\cdot\text{m}$
- 모터 용량 =  $6.6\text{N}\cdot\text{m} \div \text{감속비} \times \text{안전계수} = \text{최종 선정 기준}$

## 좌굴 하중 검증: 500mm 스트로크 안전성

- 좌굴 하중 =  $\pi^2 \times E \times I \div (4 \times L^2) = 15,200\text{N}$
- $15,200\text{N} > 7,500\text{N}$  (설계하중)  $\rightarrow$  좌굴 안전  $\checkmark$

## 최종 선정 결과: LM가이드 + 볼스크류 조합

- 최종 선정 = THK HSR20A (LM가이드) + BNT1605 (볼스크류)
- 총 비용 = 약 180만원, L10 수명 = 20,000시간 달성 ✓

# Excel 계산의 실무 활용 가치

- 실무 장점 = 계산 근거 문서화 + 설계 변경 시 즉시 재계산
- 조선소 표준 = 모든 설계 계산서 Excel 파일로 보관 의무

# 계산 오류 체크포인트 5가지

- ①단위 통일  
②안전계수 적용  
③카탈로그 최신 여부  
④좌굴 검증  
⑤수명 계산
- 실무 실패 사례 = 단위 오류로 인한 과소 설계 (kN vs N)

# 다른 직선운동 구조와의 비교

- LM가이드+볼스크류 vs 실린더 = 정밀도 vs 속도 트레이드오프
- 조선소 선택 기준 = 위치 정밀도  $\pm 0.1\text{mm}$  이하  $\rightarrow$  볼스크류 필수



# Excel 템플릿 저장 및 향후 활용

- 파일 저장 = "직선운동계산\_v1.0\_사번\_날짜.xlsx" 형식
- 향후 활용 = 회전운동(4교시) + 종합설계(5일차) 연계 템플릿

## 세션2 완료: Excel 마스터 → 3D 모델링 도전

- 완료 성과 = 체계적 계산 + 카탈로그 선정 + 검증 완료 ✓
- 세션3 예고 = 계산 결과 → SolidWorks 3D 모델링 + 어셈블리

## 세션3 시작: Excel 계산 → 3D 모델링 실현

- 세션2 완료 = HSR20A + BNT1605 선정 완료 ✓, 세션3 목표 = 3D 어셈블
- Starter Kit 활용 = 사전 모델링 부품 + 25분 핵심 조립 집중 전략

# Starter Kit 구성품 확인 및 로딩

- Kit 구성 = HSR20A\_Complete.sldasm + BNT1605\_Complete.sldasm ·
- 환경 설정 = Toolbox 경로 확인 + 단위(mm-kg-s) + 템플릿 로딩

# 베이스 플레이트 구조 이해 및 기준점 설정

- 베이스 플레이트 = 직선운동 시스템의 고정 기준 + 장착 홀 패턴 제공
- 기준점 설정 = 원점(0,0,0) + Front 평면 + Right 평면 활용

# LM가이드 HSR20A 어셈블리 삽입

- Insert → Component → Existing Part/Assembly → HSR20A\_Complete
- 배치 위치 = 베이스 플레이트 상면 + 중앙 정렬 + Z축 방향 설정

<https://kr.misumi-ec.com/vona2/detail/221000461747/?KWSearch=HSR+LM가이드&searchFlow=results2products&list=PageSearchResult>

# LM가이드 구속조건(Mate) 설정 - 1 단계

- Mate 1 = Coincident (LM가이드 하면 ↔ 베이스 플레이트 상면)
- Mate 2 = Parallel (LM가이드 축 방향 ↔ 베이스 플레이트 X축)

## LM가이드 구속조건(Mate) 설정 - 2단계

- Mate 3 = Distance (LM가이드 중심선 ↔ 베이스 플레이트 중심선, 거리 0)
- 결과 확인 = LM가이드 완전 고정 + 초록색 표시 + 자유도 0



# 볼스크류 BNT1605 어셈블리 삽입

- Insert Component = BNT1605\_Complete.sldasm 선택
- 초기 배치 = LM가이드 블록 중앙 + 축 방향 X축 평행 위치

<https://kr.misumi-ec.com/vona2/detail/221000095166/?KWSearch=bnt&searchFlow=results2products&list=PageSe>

# 볼스크류 구속조건 설정 - 축 정렬

- Mate 1 = Concentric (볼스크류 축 ↔ LM가이드 블록 관통홀)
- Mate 2 = Parallel (볼스크류 축선 ↔ 베이스 플레이트 X축)

# 볼스크류 구속조건 설정 - 위치 고정

- Mate 3 = Distance (볼스크류 너트 중심 ↔ LM가이드 블록 중심, 거리 0m)
- 결과 = 볼스크류 너트와 LM가이드 블록 완전 일체화

# 지지 베어링 추가 및 구속조건

- Insert Component = Standard Bearing (Toolbox 활용)
- 베어링 구속 = 볼스크류 양단 + 베이스 플레이트 고정 브라켓

# 어셈블리 간섭 체크 - 1차 검증

- Tools → Evaluate → Interference Detection 실행
- 검사 대상 = 전체 어셈블리 구성품 간 물리적 충돌 여부

# 동작 범위 설정 및 확인

- 스트로크 설정 = 500mm (Excel 계산 결과 반영)
- 동작 확인 = LM가이드 블록 + 볼스크류 너트 연동 이동

# 구속조건 수정 - 직선 이동 자유도 부여

- 기존 Distance Mate → Limit Distance Mate 변경
- 이동 범위 = 0mm ~ 500mm 설정 (Excel 스트로크 반영)

# 수동 동작 테스트 - 드래그 이동 확인

- 마우스 드래그 = LM가이드 블록을 잡고 X축 방향 이동 테스트
- 확인 사항 = 부드러운 이동 + 500mm 제한 + 되돌림 동작



# 실제 제작 고려사항 - 공차 및 클리어런스

- 조립 공차 =  $\pm 0.05\text{mm}$  (LM가이드 장착홀 기준)
- 클리어런스 = 2mm (케이블 + 배관 공간 확보)

# 최종 어셈블리 검증 - 종합 체크

- 검증 항목 = ①간섭 없음 ②스트로크 500mm ③구속조건 완전 ④동작 원활
- 성과 = Excel 계산 → 3D 모델 → 동작 확인 완전 연결 ✓

# 파일 저장 및 관리 - 프로젝트 완료

- 저장 구조 = 어셈블리 파일 + 부품 파일 + 도면 파일 + Excel 계산서
- 파일명 규칙 = "직선운동시스템\_v1.0\_HSR20A\_BNT1605\_날짜"

# 설계 변경 시나리오 - 하중 증가 대응

- 시나리오 = 페이로드 50kg → 80kg 증가 시 대응 방법
- 대응 절차 = Excel 재계산 → 부품 재선정 → 3D 모델 업데이트

# 향후 학습 로드맵 - 4교시 연계

- 4교시 예고 = 회전운동 (모터 + 감속기 + 커플링)
- 연계점 = 직선운동 + 회전운동 = 완전한 자동화 시스템

# 통합 검증 체크리스트 - 6단계 프로세스

- 6단계 검증 = ①설계 완료 ②간섭 없음 ③안전 확보 ④경제성 ⑤유지보수 ⑥
- 체크리스트 활용 = 소그룹별 실시간 점검 + 강사 순회 확인

# 1단계: 설계 완료도 체크 - 세션1-3 통합 검증

- 설계 완료 = 이론(세션1) + 계산(세션2) + 모델링(세션3) 3단계 연결 완성
- 체크 항목 = Excel 계산서 + 3D 모델 + BOM + 도면 모든 파일 준비 완료

## 2단계: 간섭 및 동작 체크 - SolidWorks 검증

- 간섭 검증 = Interference Detection 결과 "No Interference" 확인 필수
- 동작 검증 = 500mm 스트로크 + 드래그 테스트 + 제한 범위 정상 작동



## 3단계: 구조 안전성 검증 - 하중 및 강도 확인

- 하중 안전성 = 설계하중 vs 허용하중, 안전계수 3.0 이상 확보 ✓
- 구조 안전성 = 볼스크류 좌굴 하중 + LM가이드 정격 하중 + 베어링 수명

## 4단계: 동작 안전성 검증 - 비상정지 및 보호 장치

- 비상정지 시스템 = 하드웨어 E-Stop  
+ 소프트웨어 Limit  
+ 기계적 엔드스톱
- 보호 장치 = 안전 펜스 + 라이트 커튼 + 경고등 + 작업자 안전 확보

## 5단계: 경제성 분석 - ROI 계산 템플릿 활용

- 투자비 = 부품비 180만원 + 설치비 120만원 + 프로그래밍 80만원  
= 총 380만원
- 효과  
= 인건비 절약 월 200만원 + 품질 향상 월 50만원  
→ 투자회수 18개월

## 6단계: 유지보수성 및 환경 적응성 확인

- 유지보수성 = 부품 교체 용이성 + 윤활 접근성 + 고장 진단 시스템
- 환경 적응성 = 부식 방지 코팅 + 방진 설계 + 온도 보상 + 진동 대응

# 조선소 적용 성공 사례 - 현대중공업 용접로봇 Z축

- 성공 요인 = 체계적 설계 검증 + 충분한 안전계수 + 환경 대응 설계
- 성과 = 생산성 ↑35% + 품질 향상 + 작업자 안전성 확보 + 18개월 투자회수

# 조선소 적용 실패 사례 - 부족한 검증의 결과

- 실패 원인 = 불충분한 안전계수 + 환경 고려 부족 + 유지보수성 무시
- 결과 = 6개월 후 고장 다발 + 예상보다 높은 운영비 + 투자 손실

# 성공 vs 실패 사례 대비 분석 - 핵심 차이점

- 핵심 차이 = 체계적 검증 프로세스 적용 여부가 성패 결정 요소
- 교훈 = 초기 설계 단계의 꼼꼼한 검증 = 장기적 성공의 필수 조건

# 검증 완료 종합 정리 - 6단계 체크 결과

- 검증 완료 = 6단계 모든 항목 통과 ✓, 실무 적용 준비 완료 상태
- 달성 성과 = 안전한 설계 + 경제적 타당성 + 조선소 환경 적합성 확보



# 직선운동 설계 과정 전체 정리 - 3교시 완전 정복

- 완전 정복 = 이론(세션1) + 계산(세션2) + 모델링(세션3) + 검증(세션4) ✓
- 실무 역량 = 조선소 직선운동 시스템 독립 설계 + 검증 + 적용 가능

## 4교시 예고: 직선운동 → 회전운동 시스템 확장

- 4교시 주제 = 회전운동 시스템 (서보모터 + 감속기 + 커플링)
- 연결점 = 직선운동 + 회전운동 = 완전한 자동화 시스템 구성

# 자동화 시스템 통합 관점 - 직선 + 회전의 조합

- 시스템 통합 = 직선운동(위치) + 회전운동(동작) = 다축 로봇 시스템
- 조선소 활용 = 용접로봇 XYZ축 + 회전 테이블 → 완전 자동화 달성

# 실무 적용 로드맵 - 단계별 확장 전략

- 1단계 = 직선운동 마스터(완료) → 2단계 = 회전운동 추가 → 3단계 = 시스
- 실무 적용 = 간단한 픽애플레이스 → 복잡한 용접로봇 → 전체 라인 자동화

## 3교시 완료: 직선운동 마스터 달성 + 4교시 기대

- 완료 성과 = 직선운동 시스템 설계-계산-모델링-검증 완전 마스터 ✓
- 다음 도전 = 4교시 회전운동으로 자동화 시스템 설계 역량 완전 정복

# 조선소 적용 시 주의사항 및 고려사항

- 환경 저항성 = 부식 + 진동 + 온도변화 (조선소 3대 위험 요소)
- 운영 고려 = 유지보수 + 교체 + 안전 (현장 운영 3대 핵심)

## 4교시 연결 및 전체 시스템 관점

- 시스템 관점 = 직선운동(3교시) + 회전운동(4교시) → 통합 자동화
- 4교시 미리보기 = 베어링 + 감속기 + 커플링 (회전 3대 요소)