

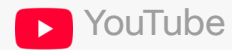
# 로봇 개선 프로젝트

성능 변화 설계를 위한 체계적 접근법

# SCARA Robot 소개

- SCARA = Selective Compliance Assembly Robot  
Arm 약자
- 주요 용도: 평면 정밀 조립 및 픽애플레이스 작업 특화
- 특징: 수직 방향 견고성, 수평 방향 유연성
- 구성: 4개 축(조인트)으로 빠르고 반복적인 동작 효율성
- 활용 분야: 자동차 부품 조립, 전자제품 생산 등 다양한 산업  
현장





YouTube



## High Speed SCARA Robot for Pick & Place – FANUC's N...

SCARA Robot pick and place:

<http://www.fanucamerica.com/scara> FANUC America's all-ne...

# SCARA Robot 사양



페이로드 용량	3 kg
작업 반경 (Reach)	400 mm
반복 정밀도	$\pm 0.01$ mm
최대 속도	7500 mm/s
자유도 (축)	4축 (X, Y, Z, R)
설치 방식	천장 또는 바닥
적용 산업	전자 조립, 부품 이송, 포장

# SCARA Robot 도면

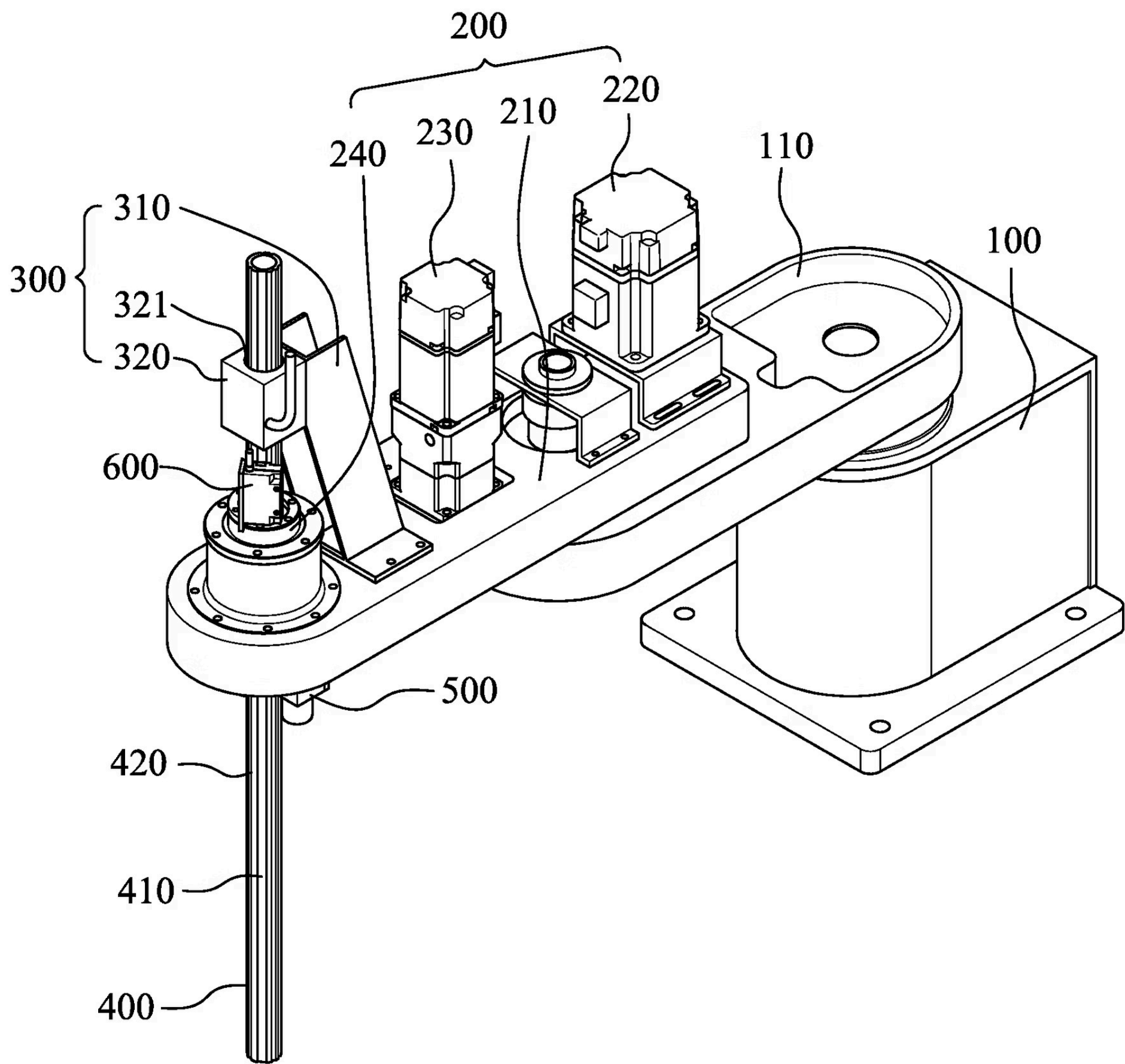
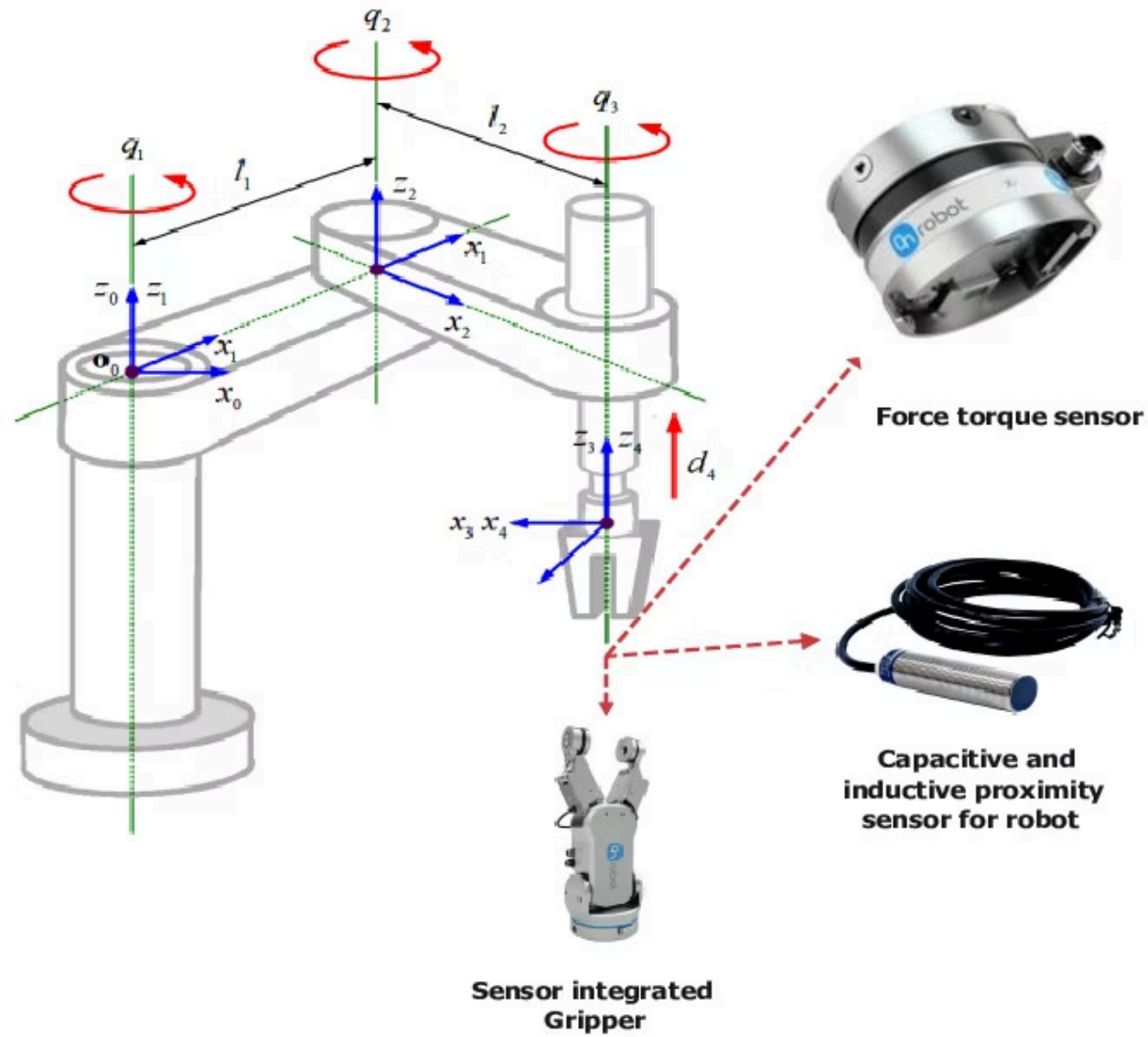
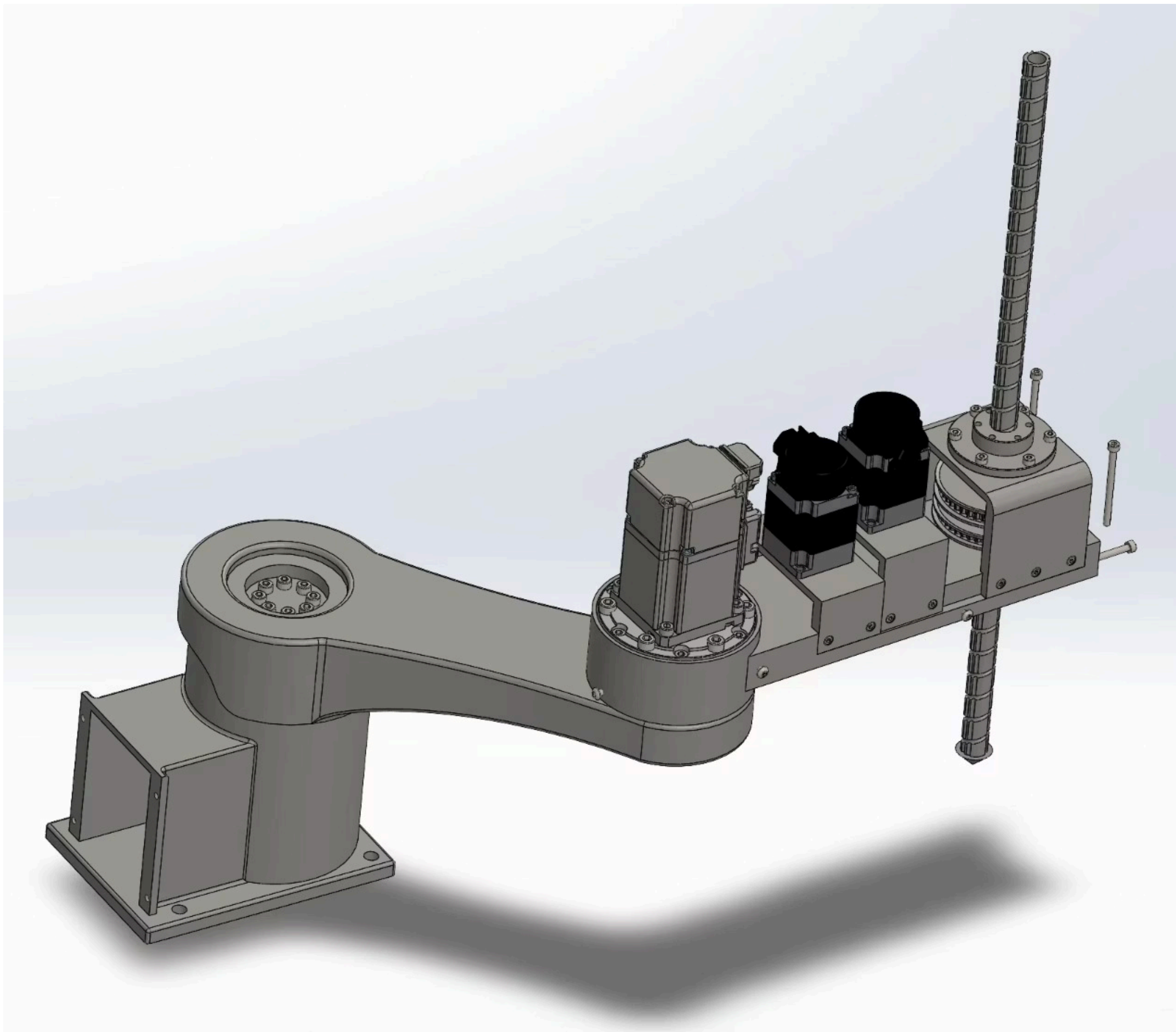
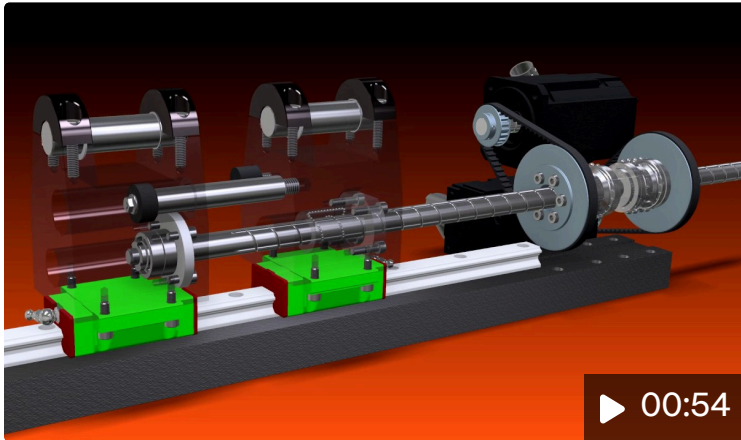



Fig. 1







 YouTube



### **Two linear motions controlled separately by a single Bal...**

This drive system allows controlling the position of the two blocks either separately or together as a single unit.



# 페이로드 증가를 위한 기계 설계 순서

01

---

요구사항 정의 (3kg에서 10kg 페이로드)

3kg → 10kg 페이로드 증대 요구사항 정의

02

---

기존 시스템 분석 (구조적, 운동학적)

기존 시스템 (구조, 운동학적) 분석

03

---

모터 및 기어박스 선정

모터 및 기어박스(감속기) 사양 선정

04

---

기계적 재설계 (구조, 조인트, 재료)

증가된 하중 대비 기계적 재설계 (구조, 조인트, 재료)

05

---

SolidWorks Motion Study 검증 및 시뮬레이션

SolidWorks Motion Study 통한 시스템 검증 및 시뮬레이션

# 추가 사항

- 모터/감속기 선정시 미츠비시 카탈로그 활용
  - CAD활용 포함
- 일부 수계산은 AI로 대체
- 기구학적, 동역학적 계산은 Motion Study 활용
- 2축에 대해서만 우선 진행

# Afterwards:

- 10 Kg → 100 kg 팀별 프로젝트
  - 시스템 해석
  - FEM 해석 수행 포함
  - 모터 선정
  - 기구 재설계

# 오늘의 순서

- **Motor 선정리뷰 (NotebookLM result, 2일차 관련)**
- **Trajectory Mate and Inverse Kinematics**
- **SCARA robot 재설계**
  - 기구 분석 및 필요 모션 정의
  - 기구학, 동역학적 해석
    - 하중/파워 계산
  - 페이로드 변경
  - 모터/감속기 선정(미츠비시 카탈로그 참조)
  - 기구 재설계
- **SCARA robot 재설계 #2 (팀별 재설계)**
  - Payload to 100 kg
  - 베어링 선정 (Axis for 3~4)
  - FEM analysis

# SCARA 로봇 개선 프로젝트



# 프로젝트 개요

## 현황

- 현재 SCARA 로봇: 페이로드 1kg 제한
- 정밀도 문제로 품질 저하 발생
- 조선소 환경에 최적화 필요

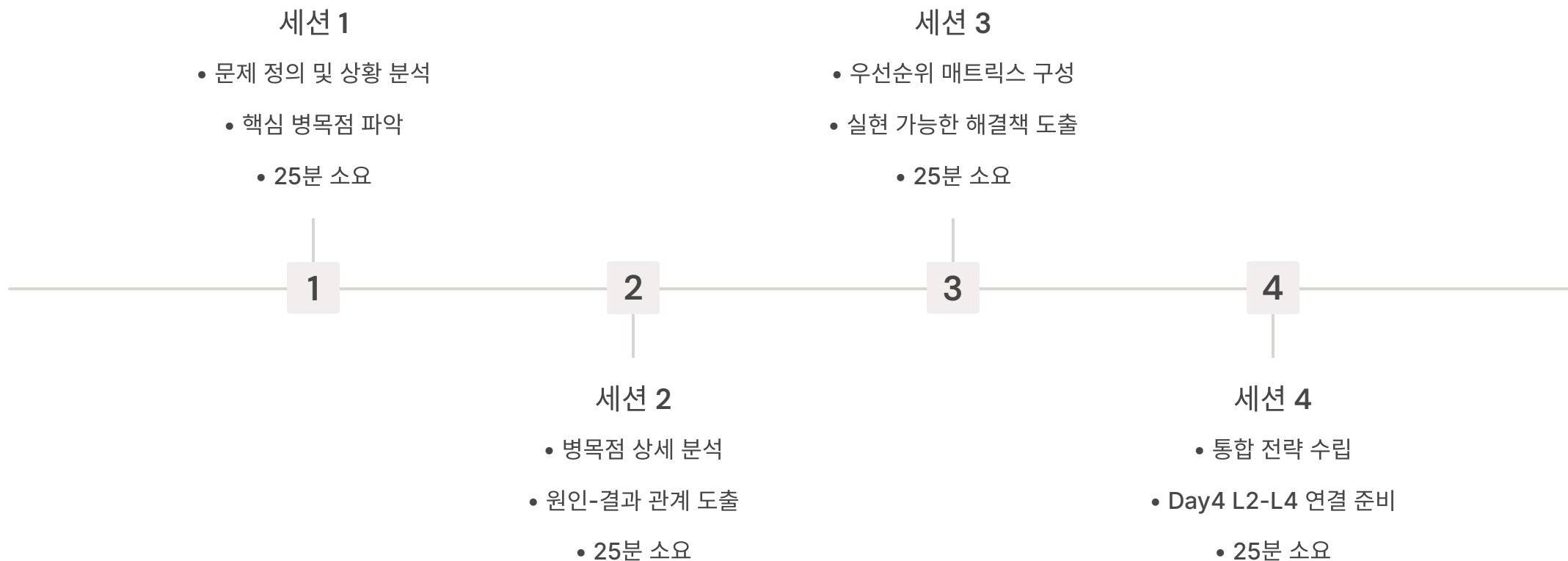
## 목표

- 페이로드 향상: 1kg → 3kg
- 정밀도 30% 향상
- 조선소 환경 적합성 확보

## 접근법

- 체계적 분석 및 우선순위 설정
- 다축 개선 전략 수립
- 실행 계획 수립 및 검증

# 일정 및 프로세스



• 총 프로젝트 시간: 2시간 (휴식 포함)

• 팀별 실습 및 토론 중심 진행

# 세션 1: 문제 정의 및 상황 분석

- 현재 SCARA 로봇 사양 검토
- 성능 제한 요소 파악
- 페이로드 및 정밀도 제한의 원인 분석
- 개선 가능성 초기 평가
- 핵심 병목점 식별



# SCARA 로봇 기본 구조

- 선택적 컴플라이언스 어셈블리 로봇 암
- 4축 구조: X-Y-Z 및 회전
- 수평면 내 동작 최적화
- 주요 구성 요소:
  - 서보모터 및 감속기
  - 링크 구조 및 관절
  - 제어 시스템
  - 엔드이펙터
- 현재 모델: 200W 서보모터 사용
- 베어링: 6급 정밀도 사양

# 현재 성능 제한 요소

## 모터 용량 제한

- 현재 200W 서보모터 사용
- 1kg 페이로드 한계
- 가속/감속 시 토크 부족
- 고하중 작업 불가능

## 구조적 한계

- 링크 강성 부족
- 6급 베어링 정밀도 한계
- 진동 및 처짐 발생
- 고속 작동 시 안정성 저하

## 제어 시스템 한계

- 기본 PID 제어만 구현
- 위치 오차 보정 기능 미흡
- 실시간 피드백 처리 지연
- 환경 변화 대응력 부족

# 세션 1 종합: 핵심 발견사항

- 페이로드 제한의 주요 원인:
  - 모터 용량 부족 (200W → 최소 400W 필요)
  - 구조적 강성 부족 (링크 단면적 20% 이상 증가 필요)
- 정밀도 제한의 주요 원인:
  - 베어링 등급 미흡 (6급 → 5급 이상 필요)
  - 제어 시스템 최적화 부족 (고급 알고리즘 필요)
- 다음 단계: 세션 2에서 각 병목점 심층 분석

# 세션 2: 병목점 상세 분석

- 각 병목점의 심층 분석
- 정량적 데이터 수집 및 검토
- 원인-결과 관계 도출
- 상호작용 효과 분석
- 개선 방향성 검토

# 모터 용량 분석

- 현재 모터 사양:

- 용량: 200W 서보모터
- 정격 토크: 0.64 N·m
- 최대 토크: 1.91 N·m (3배)
- 관성비: 5:1 (모터:부하)

- 현재 문제점:

- 부하 1kg에서 가속 시 토크 부족
- 최대 속도 도달 시간 지연
- 정밀 위치제어 어려움

# 구조 강성 분석

## 63%

처짐 발생

- 최대 부하 시 암 끝단 처짐률
- 목표: 30% 이하로 감소

## 1.2mm

위치 오차

- 최대 부하 시 위치 정밀도
- 목표: 0.5mm 이하로 개선

## 82Hz

공진 주파수

- 현재 링크 구조의 공진점
- 목표: 120Hz 이상으로 향상

- 유한요소분석(FEA) 결과:
- 링크 단면적 20% 증가 시 강성 150% 향상 가능
- 베어링 강성 증가로 관절부 강성 200% 향상 가능
- 구조 보강으로 공진 주파수 상승 → 안정성 확보

# 베어링 정밀도 분석

- 베어링 등급별 정밀도 편차:

- 6급(현재):  $\pm 30\mu\text{m}$
- 5급:  $\pm 10\mu\text{m}$
- 4급:  $\pm 5\mu\text{m}$

- 현재 6급 베어링 문제점:

- 백래시(backlash) 발생
- 반복 정밀도 저하
- 고속 회전 시 진동 증가
- 수명 및 내구성 부족

- 5급 베어링 적용 시 예상 효과:

- 백래시 50% 감소
- 반복 정밀도 3배 향상
- 진동 40% 감소
- 수명 200% 연장

# 제어 시스템 분석



## 현재: 기본 PID 제어

- 단순 위치 제어만 구현
- 외란 보상 능력 제한적
- 정착 시간: 450ms
- 오버슈트: 12%



## 개선: 고급 제어 알고리즘

- PID + 피드포워드 제어
- 모델 기반 외란 관측기
- 정착 시간: 200ms
- 오버슈트: 5% 이하



## 예상 효과

- 정밀도 30% 향상
- 사이클 타임 15% 단축
- 진동 50% 감소
- 시스템 안정성 증가

- 제어 알고리즘 개선은 하드웨어 업그레이드와 함께 시너지 효과 발휘
- 소프트웨어 기반 개선으로 비용 대비 효과 우수



# 개선 방안 3축 전략



## 축 1: 모터 업그레이드

- 200W → 400W 서보모터
- 토크 200% 증가
- 관성비 최적화
- 열 발생 관리 시스템



## 축 2: 구조 보강

- 링크 단면적 20% 증가
- 6급 → 5급 정밀 베어링
- 댐퍼 추가 진동 억제
- 베이스 강성 증가



## 축 3: 제어 최적화

- PID 튜닝 최적화
- 피드포워드 제어 추가
- 외란 관측기 구현
- 모델 기반 보상 기법

- 3축 전략의 통합적 적용을 통해 시너지 효과 극대화
- 각 축은 독립적이 아닌 상호 보완적 관계

# 축 1: 서보모터 업그레이드 방안

- 현재 모터 (200W) 한계:

- 정격 토크: 0.64 N·m
- 최대 토크: 1.91 N·m
- 정격 속도: 3000rpm
- 페이로드: 최대 1kg

- 업그레이드 모터 (400W) 사양:

- 정격 토크: 1.27 N·m (↑98%)
- 최대 토크: 3.82 N·m (↑100%)
- 정격 속도: 3000rpm (유지)
- 페이로드: 최대 3kg 지원



- 예상 효과:

- 페이로드 1kg → 3kg (↑200%)
- 가속 성능 100% 향상
- 정밀도 30% 향상
- 사이클 타임 20% 단축
- 고려사항: 방열 설계, 전원 용량, 드라이버 호환성

# 모터 선정 매트릭스

평가 기준	미쓰비시 HF-KP	야스카와 SGM	시멘스 1FK7
성능 (40%)	4.5/5	4.8/5	4.7/5
비용 (30%)	4.2/5	3.5/5	3.3/5
호환성 (30%)	4.3/5	4.5/5	3.8/5
종합 점수	4.35/5	4.32/5	4.01/5

- 성능: 토크 특성, 속도 범위, 응답성, 정밀도
- 비용: 초기 구매비, 유지보수비, 교체 부품 가용성
- 호환성: 기존 시스템 연동성, 조선소 표준화 정책 부합성, A/S 접근성
- 결론: 미쓰비시 HF-KP 시리즈가 종합 평가에서 근소한 우위

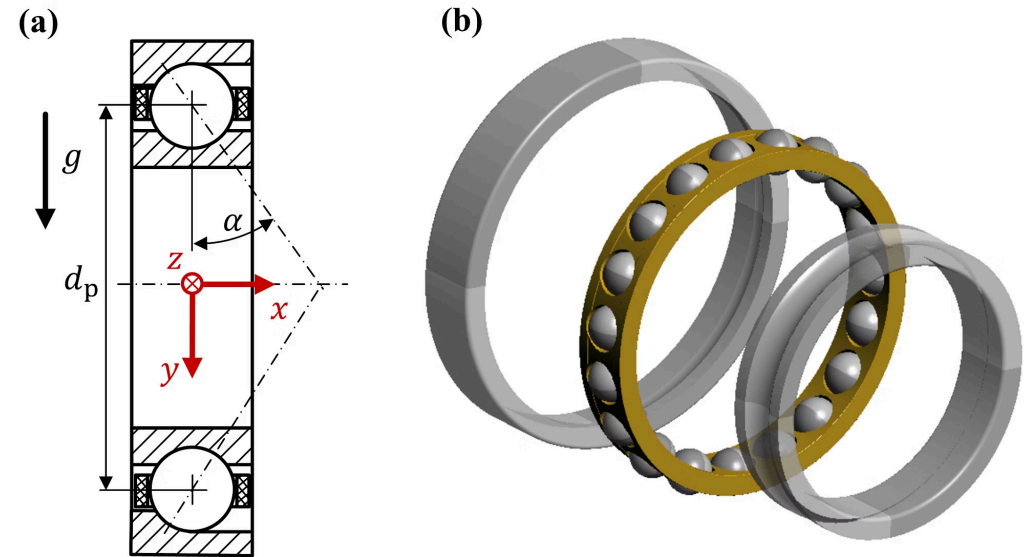
# 베어링 업그레이드 상세 방안

- 현재 베어링 (6급) 사양:

- 정밀도:  $\pm 30\mu\text{m}$
- 내경 변동:  $20\mu\text{m}$
- 진원도:  $15\mu\text{m}$
- 회전 정밀도:  $35\mu\text{m}$

- 업그레이드 베어링 (5급) 사양:

- 정밀도:  $\pm 10\mu\text{m}$  ( $\uparrow 67\%$ )
- 내경 변동:  $7\mu\text{m}$  ( $\uparrow 65\%$ )
- 진원도:  $5\mu\text{m}$  ( $\uparrow 67\%$ )
- 회전 정밀도:  $12\mu\text{m}$  ( $\uparrow 66\%$ )



- 베어링 제조사별 비교:

제조사	가격	납기
NSK	100만원	2주
THK	95만원	3주
FAG	110만원	4주

# 팀별 발표 및 결과 통합

- 각 팀별 솔루션 발표 (3분/팀)
- 발표 내용: 선정 솔루션, 평가 점수, 선정 근거
- 공통 패턴 분석: 모든 팀에서 선택된 핵심 요소 파악