
스마트 제조 AI Agent 해커톤 2025

MVP 기획서

팀명	팩토리 닥터
프로젝트명	R-Mate

팀명	팩토리 닥터
팀원	유영찬, 이승재
프로젝트명	R-Mate
세부 주제	제조 문서 RAG 기반 설비 고장 대응 및 수리 가이드 자동화 Agent
한줄소개	FANUC 로봇 에러 발생 시 매뉴얼 RAG를 통해 설비 에러를 진단하고, 실행 가능한 복구 가이드를 제시하는 AI 조수

2. 문제 정의 (Problem Definition)

1. 프로젝트 배경 및 대상 선정

- 제조 데이터의 폐쇄성 극복: 보안상 접근이 어려운 실제 공장 데이터 대신, 글로벌 점유율 1위인 FANUC 로봇의 공식 유지보수 매뉴얼(R-30iA Mate Controller Maintenance Manual)을 원천 데이터로 선정하여 프로젝트의 현실성과 신뢰성을 확보
- 타겟 설비: FANUC R-30iA Mate Controller

2. 제조 현장의 문제점

- 방대한 매뉴얼 검색의 비효율성
 - 수백 페이지 매뉴얼에서 에러 코드(SRVO-XXX)를 찾느라 긴급 상황에서도 시간 소모
- 숙련도에 따른 대응 편차
 - 텍스트로 된 조치 방법만으로는 신입 엔지니어가 실제 부품 위치나 교체 순서를 파악하기 어려움
- 다운타임 비용 발생
 - 단순한 고장도 매뉴얼 숙지 미흡·잘못된 1차 조치로 해결이 지연되어 라인 정지·불필요한 부품 교체 등 추가 비용 발생

3. 해결 필요성

- 에러 코드만 입력하면 매뉴얼 내의 정확한 원인과 조치 방법을 즉시 추출하고, 초보자도 따라 할 수 있는 표준 대응 절차(SOP)를 제시하는 AI 시스템 필요

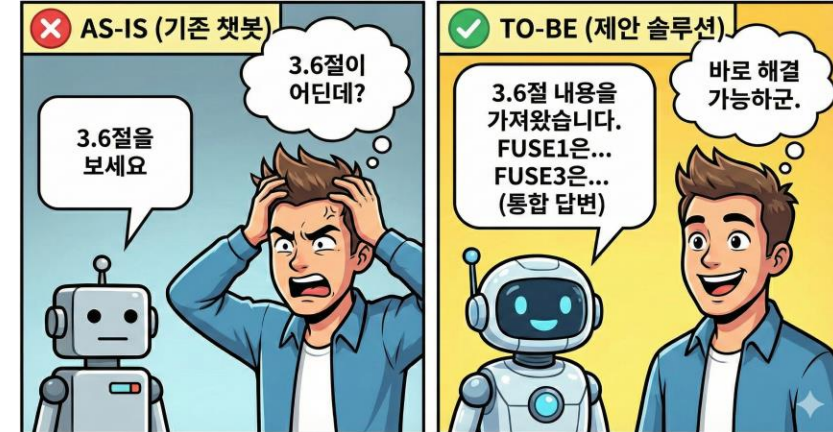
3. 제안 솔루션 개요 (Solution Overview)

1. 시스템 전체 구조

- User Interface: 작업자가 자연어로 질문 (예: "SRVO-214 퓨즈 에러 해결법 알려줘")
- Orchestrator Agent: 사용자의 의도를 파악하고 하위 에이전트들에게 업무를 지시
- Specialist Agent
 - Retrieval Agent: 매뉴얼 Vector DB에서 1차 답변 검색
 - Linker Agent: 1차 답변 내의 참조 문구를 감지하여, 해당 섹션 내용을 재검색 및 병합
 - Safety Agent: 작업 내용과 연관된 안전 수칙을 최우선으로 확보

2. 핵심 차별점: 다중 문맥 인식 및 교차 참조 (Cross-Reference RAG)

- 문제: 기존 RAG는 "3.6절을 참조하세요"라는 텍스트만 보여주어, 작업자가 다시 문서를 찾아야 하는 번거로움 존재.
- 해결(Agent Workflow)
 - 에이전트가 답변 생성 전, 문서 내 하이퍼링크/참조 문구(See Section...)를 스스로 인식
 - 관련된 하위 문서(Sub-document)까지 자동으로 찾아와서 한 번에 요약 제공
 - 결과적으로 참조 절을 다시 찾아볼 필요 없는, 완결된 수리 가이드 제공



3. 제안 솔루션 개요 (Solution Overview)

3. 에이전트 협업 시나리오 요약

감지: Orchestrator Agent가 질문에서 '에러 코드(SRVO-214)' 식별

1차 검색: Retrieval Agent가 에러 원인 및 기본 조치 검색

심화 검색: Linker Agent가 "Section 3.6 참조" 문구 발견 후, 해당 챕터의 상세 표(Table) 데이터 추가 확보

검증: Safety Agent가 "전원 차단 필수" 안전 수칙 추가

응답: 작업자에게 원인+상세증상표+안전수칙이 통합된 답변 전달

4. 주요 기능 정의 (Key Features)

기능 1: 에러 코드 기반 심층 진단 및 솔루션 매핑

- 기능 설명
 - 사용자가 입력한 자연어(예: "BZAL 알람 떴어")에서 정형화된 에러 코드(SRVO-062)를 추출
 - 매뉴얼의 '3. TROUBLESHOOTING' chapter 데이터를 기반으로 증상 - 원인 - 조치를 매핑하여 제시
- 구현 포인트
 - 단순 텍스트 검색이 아니라, "SRVO-062"의 경우 "배터리 교체"뿐만 아니라 "마스터링(Mastering) 필요"라는 후속 조치까지 안내
 - 매뉴얼 본문에서 점검 순서, 주의 문구를 함께 추출해 명확한 Step-by-Step 수리 가이드로 변환

3.TROUBLESHOOTING		MAINTENANCE	B-82725EN-2/06
(34) SRVO-059 Servo amp init error	(Explanation)	Servo amplifier initialization is failed.	
	(Action 1)	Check the wiring of the servo amplifier.	
	(Action 2)	Replace the servo amplifier.	
(35) SRVO-062 BZAL alarm (Group: i Axis: j)	(Explanation)	This alarm occurs if battery for Pulsecoder absolute-position backup is empty. A probable cause is a broken battery cable or no batteries in the robot.	
	(Action 1)	Replace the battery in the battery box of the robot base.	
	(Action 2)	Replace the Pulsecoder with which an alarm has been issued.	
	(Action 3)	Check whether the robot internal cable for feeding power from the battery to the Pulsecoder is not disconnected and grounded. If an abnormality is found, replace the cable.	
CAUTION After correcting the cause of this alarm, set the system variable (\$MCR.\$SPC_RESET) to TRUE then turn on the power again. Mastering is needed.			
(36) SRVO-064 PHAL alarm (Group: i Axis: j)	(Explanation)	This alarm occurs if the phase of the pulses generated in the Pulsecoder is abnormal.	
	(Action)	Replace the Pulsecoder.	
NOTE This alarm might accompany the DTERR, CRCERR, or STBER alarm. In this case, however, there is no actual condition for this alarm.			
(37) SRVO-065 BLAL alarm (Group: i Axis: j)	(Explanation)	The battery voltage for the Pulsecoder is lower than the rating.	
	(Action)	Replace the battery. (If this alarm occurs, turn on the power and replace the battery as soon as possible. A delay in battery replacement may result in the BZAL alarm being detected. In this case, the position data will be lost. Once the position data is lost, mastering will become necessary.)	
(38) SRVO-067 OHAL2 alarm (Group: i Axis: j)	(Explanation)	The temperature inside the Pulsecoder or motor is abnormally high, and the built-in thermostat has operated.	
	(Action 1)	Check the robot operating conditions. If a condition such as the duty cycle and load weight has exceeded the rating, relax the robot load condition to meet the allowable range.	
	(Action 2)	When power is supplied to the motor after it has become sufficiently cool, if the alarm still occurs, replace the motor.	

4. 주요 기능 정의 (Key Features)

기능 2: 재귀적 정보 검색 및 교차 참조

- 기능 설명
 - 1차 검색된 답변 내에 "참조(See Section...)" 같은 참조 문구가 있을 경우, Agent가 해당 섹션을 자동으로 재검색하여 원문 + 참조 섹션 내용을 한번에 통합하여 답변 생성
- 구현 포인트
 - 예) SRVO-214 에러에 대한 설명 중 "(See Section 3.6)" 이 포함되어 있으면, Agent가 해당 절의 상세 표/추가 설명까지 자동 조회·병합
 - 사용자가 매뉴얼을 다시 열어볼 필요 없이, 참조까지 포함된 One-Stop 수리 가이드를 바로 전달받음

(70) SRVO-214 Fuse blown (Servo amplifier)

(Explanation) A fuse in the servo amplifier has blown.

In case that FS2 or FS3 is blown

(Action 1) A fuse is blown, eliminate the cause, and then replace the fuse. (See Section 3.6 in the Part II, "MAINTENANCE".)

(Action 2) Replace the servo amplifier.

4. 주요 기능 정의 (Key Features)

기능 3: 문맥 기반 안전 규정 자동 경고

- 기능 설명
 - 제시된 수리 절차에 위험 요소(고전압, 고온 등)가 포함된 경우, 관련 안전 규정(SAFETY PRECAUTIONS)을 찾아 답변 최상단에 WARNING 블록으로 자동 표시
- 구현 포인트 (매뉴얼 근거)
 - 작업자가 "서보 앰프 교체"를 검색하면, 매뉴얼의 "SAFETY PRECAUTIONS" 섹션에서 "전원 차단 후 0분 대기(방전 시간)" 등의 문구를 우선 추출
 - 단순히 "고장 해결 방법" 만 알려주는 것이 아니라, 사고 예방을 위한 안전 가이드까지 함께 제공하는 설비 도우미 역할 수행

Safety

Staying Safe During Maintenance

When performing maintenance on your robot system, observe the following rules:

- Never enter the work envelope while the robot or a program is in operation.
- Before entering the work envelope, visually inspect the workcell to make sure no potentially hazardous conditions exist.
- Never wear watches, rings, neckties, scarves, or loose clothing that could get caught in moving machinery.
- Consider all or any overlapping work envelopes of adjoining robots when standing in a work envelope.
- Test the teach pendant for proper operation before entering the work envelope.
- If it is necessary for you to enter the robot work envelope while power is turned on, you must be sure that you are in control of the robot. Be sure to take the teach pendant with you, press the DEADMAN switch, and turn the teach pendant on. Be prepared to release the DEADMAN switch to turn off servo power to the robot immediately.
- Whenever possible, perform maintenance with the power turned off. Before you open the controller front panel or enter the work envelope, turn off and lock out the 3-phase power source at the controller.
- Be aware that when you remove a servomotor or brake, the associated robot arm will fall if it is not supported or resting on a hard stop. Support the arm on a solid support before you release the brake.
- Be aware that when you remove a servomotor or brake, the associated robot arm will fall if it is not supported or resting on a hard stop. Support the arm on a solid support before you release the brake.

WARNING

Lethal voltage is present in the controller WHENEVER IT IS CONNECTED to a power source. Be extremely careful to avoid electrical shock. HIGH VOLTAGE IS PRESENT at the input side whenever the controller is connected to a power source. Turning the disconnect or circuit breaker to the OFF position removes power from the output side of the device only.

5. 데이터 및 기술 활용 계획 (Data & Tech Plan)

1. 데이터 구조화 및 Vector DB 구축 전략

- 단순히 텍스트를 자르는 것이 아니라, 'PostgreSQL pgvector'의 기능을 극대화하기 위해, 매뉴얼의 특성을 반영한 메타 데이터 컬럼 설계를 적용
 - 데이터 소스: R30iA-Mate-Controller-Maintenance-Manual.pdf (FANUC 공식 매뉴얼)
 - Vector DB 스키마 설계

컬럼명	데이터 타입	설명 및 활용 예시
id	UUID	각 데이터 청크의 고유 식별자
embedding	Vector(1536)	Solar Embedding으로 변환된 벡터값
content	Text	실제 매뉴얼 텍스트 (예: "SRVO-062 BZAL alarm... Replace battery...")
metadata	JSONB <i>Key - Value</i>	검색 정확도를 높이는 핵심 필터링 요소 - error_code : "SRVO-062" (코드 기반 즉시 검색용) - category : "Troubleshooting" (문제 해결 챕터 한정) - ref_section : "3.4" (교차 참조를 위한 섹션 링크) - Severity : "Warning" (안전 경고 여부)

5. 데이터 및 기술 활용 계획 (Data & Tech Plan)

○ 구축 프로세스

1. PDF Parsing: "3. TROUBLESHOOTING" 챕터의 테이블 구조를 인식하여 에러 코드 단위로 텍스트 추출
2. Enrichment: 추출된 텍스트에 "Action" 단계별 번호와 참조 섹션(See Section 3.6)을 메타 데이터로 태깅
3. Embedding: OpenAI Embedding을 통해 텍스트를 벡터로 변환하여 PostgreSQL에 저장

2. 핵심 기술 스택

○ LLM: OpenAI GPT-4o

- 역할 : 영문으로 검색된 매뉴얼 내용을 문맥에 맞게 이해하고, 한국어 작업자를 위해 실시간으로 번역 및 요약하여 답변 생성
- 선정 이유: 추론 능력과 다국어 처리 능력을 보유하여, 영어 매뉴얼의 전문 용어를 훼손하지 않으면서도 자연스러운 한국어 가이드 제공 가능

○ Vector DB: PostgreSQL (pgvector)

- 역할: 대용량 매뉴얼 데이터의 벡터 저장 및 검색
- 선정 이유: 관계형 데이터(에러 코드, 메타데이터)와 비정형 데이터(벡터)를 단일 DB에서 처리할 수 있어, 하이브리드 검색구현에 최적화

5. 데이터 및 기술 활용 계획 (Data & Tech Plan)

- Embedding: OpenAI Embedding (text-embedding-3-small)
 - 역할: 영문 기술 문서의 벡터화
 - 선정 이유: 원천 데이터가 영문 기술 문서이므로, 영어 텍스트 임베딩 성능이 검증된 OpenAI 모델을 선정하여 검색 정확도 극대화
- Framework: LangGraph
 - 역할: Multi-Agent 시스템의 복잡한 작업 흐름과 상태를 제어.
 - 선정 이유
 - 순환형 프로세스 구현: 단방향 구조인 기존 Chain과 달리, '참조 문서 재검색'과 같은 루프 기능을 구현하는 데 활용
 - 멀티 에이전트 상태 관리: 여러 에이전트(진단, 검색, 안전)가 에러 코드나 안전 경고 여부 등의 문맥을 공유하고 제어하는 데 최적화됨

6. 사용자 시나리오/유즈케이스 (User Scenario)

1. 주요 사용자: 입사 1~3년 차 현장 유지보수 엔지니어

- 특징: 기본적인 장비 조작은 가능하나, 수백 개의 에러 코드와 복잡한 트러블슈팅 매뉴얼을 전부 숙지하지 못함.

2. 사용자 행동 흐름

- 1) 인지: 설비 정지 및 알람 확인
- 2) 질문: 모바일/태블릿으로 에이전트에게 상황 전송
- 3) 대기: 에이전트의 분석 및 가이드 생성
- 4) 수행: 제공된 안전 수칙 준수 후, 단계별 가이드 수행
- 5) 완료: 설비 정상 가동 확인 및 이력 자동 저장

3. 에이전트 간 협업 시나리오

- 상황: 로봇 컨트롤러에 SRVO-062 BZAL 알람 발생.

단계	담당 에이전트	처리 내용 및 협업 과정
Step 1: 입력	사용자	"로봇에 BZAL 알람이 떴어. 어떻게 해야 해?"
Step 2: 진단	진단 에이전트	<ul style="list-style-type: none"> • 사용자 발화 분석 → 핵심 키워드 추출 • 식별 결과: Error Code: SRVO-062, Symptom: BZAL (Battery Zero Alarm)

6. 사용자 시나리오/유즈케이스 (User Scenario)

Step 3: 1차 검색	RAG 에이전트	<ul style="list-style-type: none"> • 매뉴얼 DB에서 SRVO-062 검색 • 1차 결과: "펄스 코더 배터리 방전. 배터리 교체 필요. 주의: 마스터링(Mastering) 필요."
Step 4: 확장 검색	연결 에이전트	<ul style="list-style-type: none"> • 1차 결과에서 "마스터링 필요" 문맥 감지 • "배터리 교체법만 주면 안 된다"고 판단 → 3.4 MASTERING 섹션 자동 재검색(Loop)하여 마스터링 절차 확보.
Step 5: 안전 검증	안전 에이전트	<ul style="list-style-type: none"> • 작업 연관 키워드(배터리, 전기) 감지 • 데이터베이스 내 안전 수칙(Safety Precautions) 로드 → "전원 상태 확인" 경고 추가.
Step 6: 최종 답변	가이드 에이전트	<p>[종합 가이드 생성 및 출력]</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 🚨 [경고] 작업 전 컨트롤러 전원을 확인하세요. 2. ⚡ [원인] 펄스 코더 배터리가 방전되었습니다. 3. ✅ [조치 1] 로봇 베이스의 배터리 박스 교체 (위치 이미지 표시) 4. 🔄 [조치 2] 배터리 교체 후 위치 정보가 초기화되었으므로, 반드시 아래 절차에 따라 '마스터링'을 수행하세요. (3.4절 요약 포함)

7. 기대 효과 및 향후 확장성 (Expected Impact)

1. 기대 효과

- MTTR(평균 수리 시간) 단축
 - 에러 코드 확인 → 매뉴얼 검색 → 조치 방법 파악까지 걸리던 시간을 자연어 질문 1번 + 자동 가이드 응답으로 단축
- 휴먼 에러 감소
 - “배터리만 교체하고 마스터링은 누락“ 같은 초보적인 실수 자동 방지
 - 안전 규정을 항상 최상단 WARNING으로 노출하여 안전사고 리스크 감소
- 숙련도 편차 완화
 - 입사 1~3년 차 엔지니어도 숙련자 수준의 대응 절차를 지원받아 작업자 간 대응 품질 격차 축소

2. 향후 확장성

- 이미지·멀티모델 확장
 - 작업자가 에러 화면·부품 사진·배선 사진을 촬영해 업로드하면, Vision AI가 이를 인식해 해당 장비·위치·부품 정보를 RAG 에이전트와 연동하는 멀티모델 수리 도우미로 확장 가능
- 타 장비·타 제조사로의 수평 확장
 - 현재 PoC는 FANUC R-30iA Mate Controller에 특화
 - 동일 구조로 다른 매뉴얼을 Vector DB에 추가하면, 설정만 바뀌서 여러 설비를 지원하는 범용 “설비 고장 대응 에이전트“ 로 확장 가능