



#AI 기반 원격제어
종합지원시스템
#인공지능(AI) 분석 엔진

2025 KBS 미디어창의기술전 수상작 소개

AI 기반

원격제어 종합지원시스템 개발

글. 송보석·이하주·김영신·장세현 KBS 송신인프라부 / 창원방송총국 기술국



개발 개요

KBS는 현재 대한민국에서 전국 단위의 On-Air 방송망을 보유하고 있는 유일한 방송사입니다. 방송망의 커다란 규모만큼 전국 곳곳에 34개의 기간 송·중계소와 3백여 개의 TVR, 26개의 중단파 시설이라는 대단위 송신시설을 운영하고 있습니다.

그러나, 수많은 송신시설 중 24시간 인력이 상주하여 운영하는 곳은 단 6개소에 불과하며, 나머지 송신시설들은 모두 KBS 원격제어시스템에 수용하여 각 지역의 송출센터에서 원격제어 및 모니터링을 수행하고 있습니다. 게다가 각 송·중계소에는 직접 On-Air를 송신하기 위한 송신기 및 안테나 시스템, 소(所)내 전력을 공급하기 위한 전원 및 비상발전 시스템, 연주소에서 만들어진 방송 프로그램을 받기 위한 전송(수신) 시스템, 그리고 장비들을 최적의 상태에서 운영하기 위한 항온항습기 등의 환경 관련 시스템까지 다양각색의 장비/시스템이 설치되어 동작 중입니다. 당연하게도 이 모든 기기종의 장비와 시스템들은 원격제어 및 감시가 가능해야 하며, 원격제어 장비와 시스템도 이에 맞춰 매우 다양한 프로토콜의 장비로 복잡한 구성을 이루고 있습니다.

담당자들은 기본적으로 송신시설의 운영/유지보수를 담당하면서 동시에 복잡하고 다양한 원격제어 장비와 시스템도 신경 써야 하는 상황입니다. 특히 원격제어 시스템의 핵심 장비인 PLC¹나 프로토콜변환기(ETOS²) 등 사용자가 프로그래밍하여 동작 방식을 수정해야 하는 장비들의 경우 제조사 교육 수료와 많은 문제 해결 사례를 통한 노하우를 축적해야 비로소 온전하게 운영할 수 있는 난점이 있습니다.

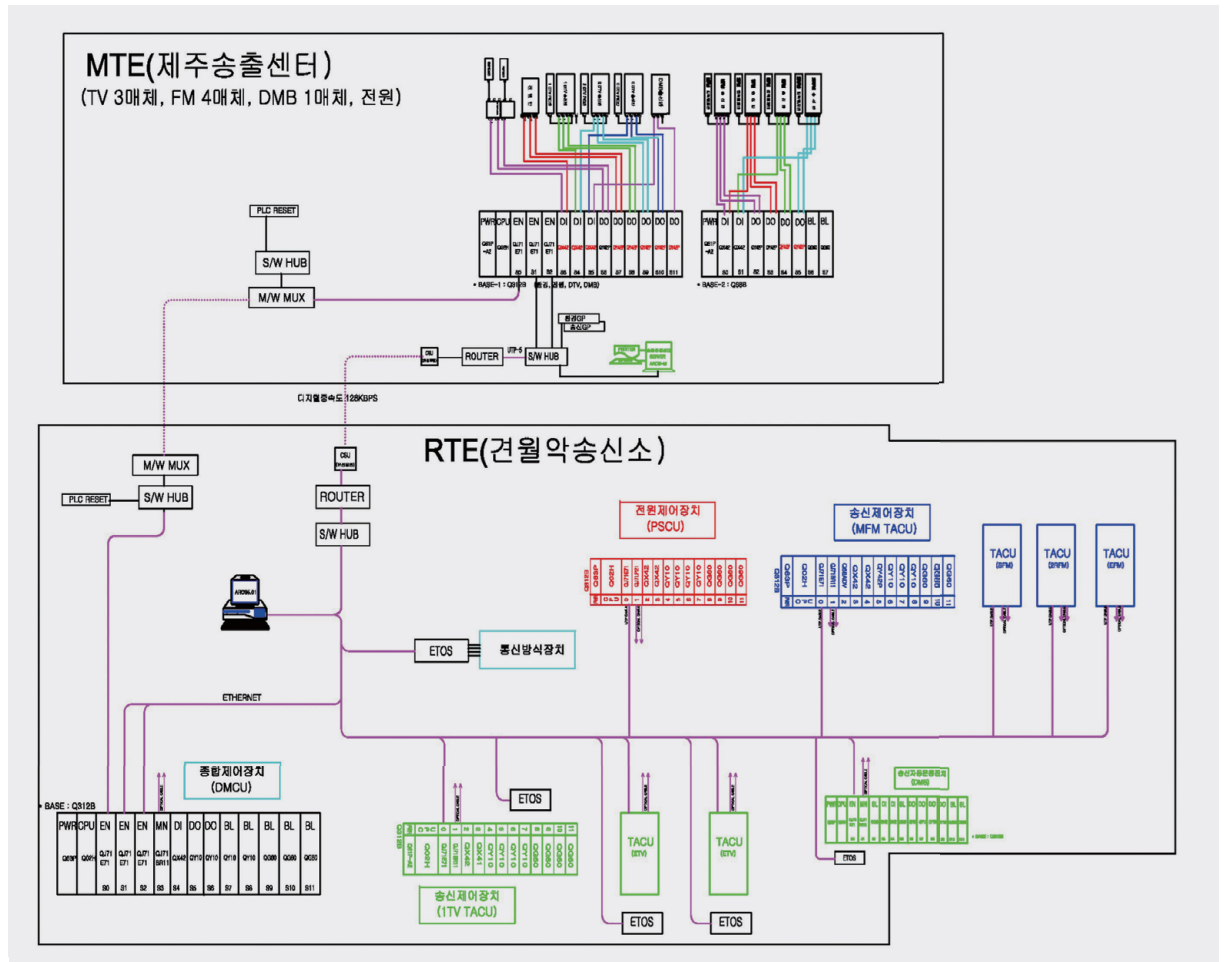


그림 1. 원격제어시스템 구성도

본 개발은 이러한 원격제어시스템의 높은 장벽을 허물고 보다 쉽고 빠르게 문제사항을 해결하기 위한 목적으로, 원격제어시스템의 가장 중요한 장비인 PLC 프로그램의 분석, 문제 자가 진단 및 최적 수정 프로그램 제안이 가능한 ‘폐쇄망 대응형 AI를 활용한 원격제어 종합지원시스템’을 제안하고자 하였습니다. 시스템은 크게 AI 기반 대화형 챗봇 형태의 원격시스템 질의응답 모듈, 그리고 PLC 프로그램의 자가 진단 및 수정 모듈로 구성되었으며, 이를 통해 폐쇄망 내에서의 AI 활용을 통한 전국 원격제어시스템의 안정적 운영과 효율적인 트러블슈팅(Troubleshooting)이 가능할 것으로 기대합니다.

1. PLC : Programmable Logic Controller, 릴레이, 타이머 카운터 등의 기능을 반도체 소자로 대체시켜 프로그램 제어가 가능하도록 한 제어장치
 2. ETOS : Ethernet TO Serial convertor, RS-232C 및 RS-422/485 등 직렬통신을 사용하는 다양한 이기종 장비들의 데이터를 Ethernet으로 전송할 수 있게 하는 산업용 네트워크 서버

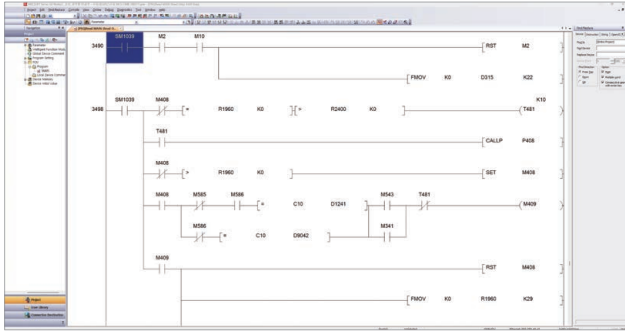


그림 2. PLC 프로그래밍 화면

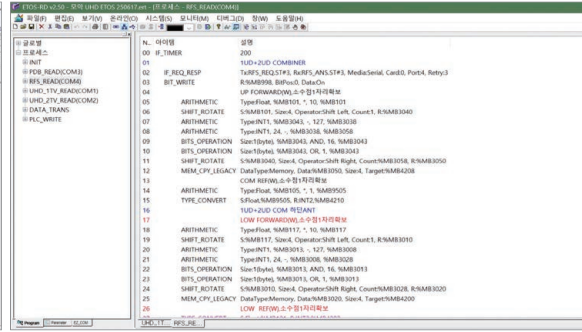


그림 3. 프로토콜변환기 프로그래밍 화면

시스템 구성, 개요 및 사용자 화면(UI)

본 시스템은 문서 및 프로그램 파일 정리, 인공지능(AI) 분석 엔진, 검색과 진단 기능 및 사용자 화면(웹·모바일)으로 구성되어 있습니다. 즉, 우리가 가진 매뉴얼 문서(PDF)와 PLC 프로그램 파일(CSV) 및 송·중계소 원격시스템 어드레스 맵을 자동으로 정리해두고, 이를 인공지능 챗봇이 질문에 맞게 찾아 설명해주는 시스템입니다.

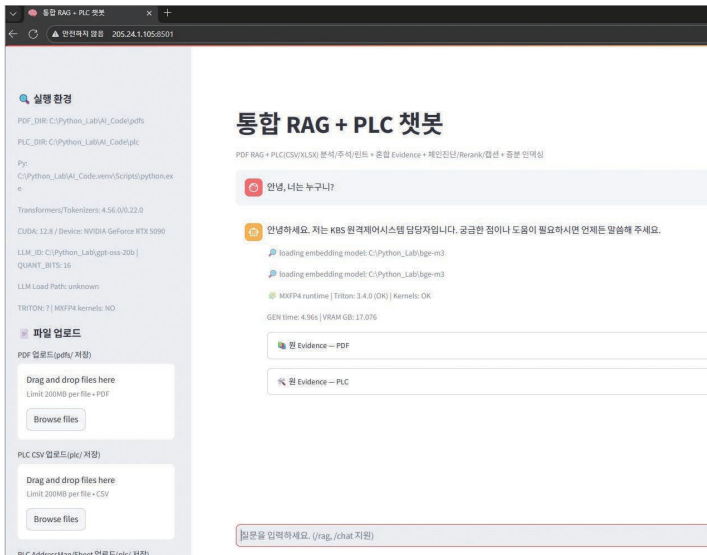


그림 4. 챗봇 화면 UI

먼저, 사용자 화면은 Python 3.10, Streamlit 프레임워크 기반으로 개발되었으며, 웹 서비스 형태로 모바일도 지원 가능합니다. 사용자 화면은 웹 브라우저에서 IP를 입력하여 내부망을 통해 접속 가능합니다. 챗봇 형태의 인터페이스로 사용자가 질문 입력창에 질문을 입력하면 질문을 기반으로 PDF 및 PLC 관련 파일을 참조할 것인지 여부를 판단합니다, AI가 답변을 생성하여 필요시, 관련 문서나 PLC 주석을 함께 보여주는 구조로써, 왼쪽 탭에서 AI 성능에 대한 파라미터 설정이 가능합니다.

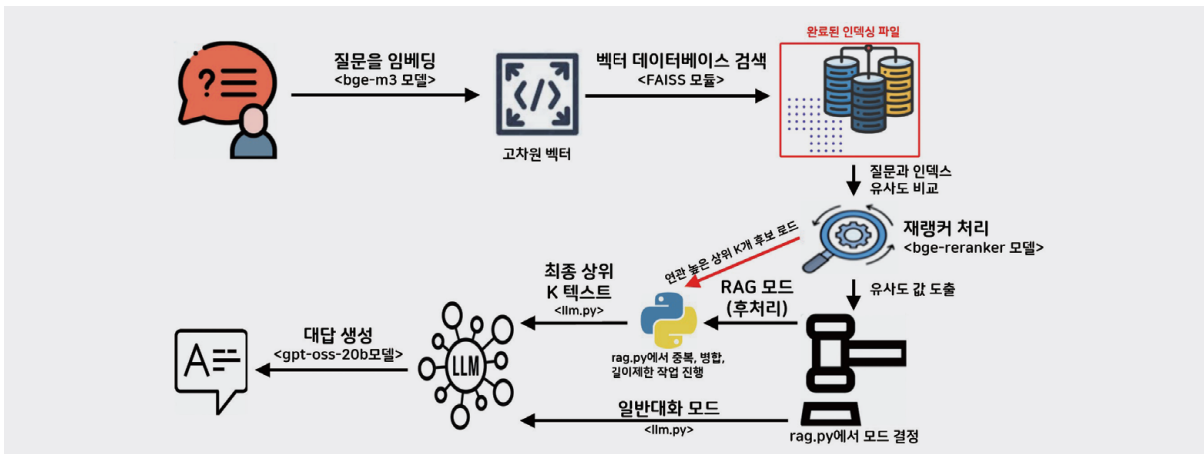


그림 5. AI 질의응답 파이프라인

시스템 구성, 인공지능(AI) 분석 엔진

인공지능(AI) 분석 엔진 중 LLM(Large Language Model) 모델은 2025년 8월에 공개된 OpenAI의 GPT-OSS-20B를 사용하였습니다. 해당 모델은 인터넷이 연결되지 않은 환경에서 AI 서비스를 사용하기 위해 개발된 모델로 KBS의 원격 제어망과 같은 폐쇄망에서 활용하기에 적합합니다. GPT-OSS-20B는 적당한 길이로 청킹(Chunking)된 [NOTES] 형태의 PDF/PLC 데이터 관련 근거를 받아서 자연어 답변을 생성하는 역할을 합니다. 성능은 현 프로젝트와 같이 매뉴얼 기반 학습이 전제되면 GPT-3.5에서 GPT-4 사이의 성능을 보여줍니다.

매뉴얼 등 학습시킬 문서 임베딩 모델(Embedding Model)으로는 BAAI의 bge-m3를 사용하였습니다. bge-m3는 문서나 주석을 고차원 벡터로 변환하여, 의미 유사도 기반 검색을 수행할 수 있도록 합니다. 다른 임베딩 모델들과 달리 bge-m3는 도메인별로 의미벡터 공간이 구분되지 않고 같은 벡터 공간 내에서 연속적으로 이어질 수 있도록 합니다. 이러한 특징 덕분에 bge-m3는 멀티도메인(Multi-Domain) 성능이 우수하여 특정 분야에 특화되지 않고 다양한 분야의 질문이 들어와도 일관되게 높은 의미 유사도 검색의 성능을 보여줍니다. 한국어, 영어 등 70개 이상의 다양한 언어를 지원하는 부분도 장점이라 할 수 있겠습니다.

검색 및 재랭커 모델은 각각 FAISS와 bge-reranker-large를 사용합니다. 초기 검색은 FAISS로 벡터 유사도를 비교하여 최초 k개의 답변 후보군을 결정하고, bge-reranker-large를 통해 질문과 답변 후보군 전체에 대해 각각의 쌍을 이루어 벡터화 이전 언어적 의미를 보유하고 있는 토큰(Token) 수준에서 재평가하여 최종적으로 관련성이 가장 높은 답변을 상위에 배치하게 됩니다. 이러한 이중 평가 과정은 후보군 선출을 FAISS로 빠르게 진행한 뒤, 상대적으로 시간 소요가 있는 재랭킹 과정을 통해 질의 의도에 정확하게 부합하는 근거나 답변을 진행하여 처리속도와 정확도 양쪽 성능을 최대화할 수 있도록 구성하였습니다.

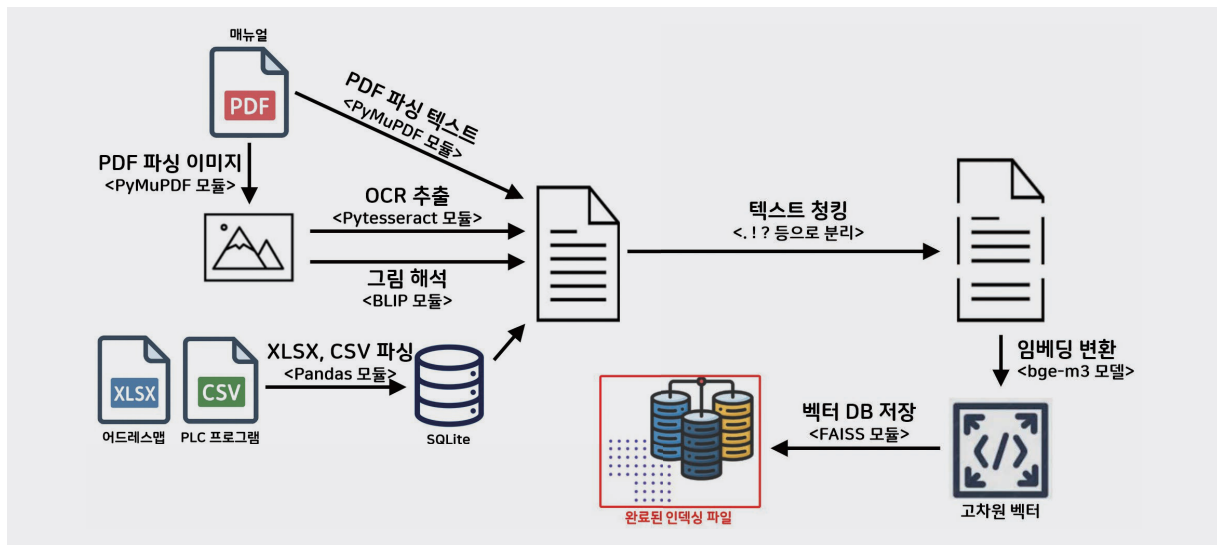


그림 6. 데이터 정리 및 인덱싱 파이프라인

시스템 구성, 데이터 정리 및 인덱싱

답변에 참고할 매뉴얼 및 문서 PDF 파일은 텍스트와 이미지를 나누어 추출하게 됩니다. 텍스트는 PyMuPDF 라이브러리를 활용하여 추출하였으며, 이미지는 Tesseract와 BLIP을 사용하여 데이터를 추출하였습니다. 이미지 데이터 추출을 조금 더 설명드리자면, 이미지 내의 OCR(Optical Character Recognition)은 Tesseract를 사용하였고, 이미지 캡션(Image

Caption)은 Salesforce의 BLIP을 적용하였습니다. 이미지 캡션은 말 그대로 이미지를 설명하는 설명문을 생성하는 과정입니다. 이를 통해 이미지도 bge-m3로 임베딩이 가능해지며, 답변 생성에 필요한 근거 데이터를 제공하게 됩니다.

이외에도 원격제어 및 감시를 위한 핵심 장치인 PLC 내부 Ladder 프로그램과 각 디지털/아날로그 감시 및 제어 항목의 데이터 매핑 및 흐름을 정리해놓은 어드레스 맵(Address Map)을 파싱하기 위한 Pandas 모듈과 SQLite도 적용하였으나, Raw 데이터의 정규화 선처리가 필요하여 향후 시스템 고도화의 과제로 남겨놓고 있습니다.

향후 참고 매뉴얼 데이터의 추가나 수정, 삭제 등이 있을 경우, PDF 및 PLC 파일의 변경 여부를 자동으로 판별하여 전체를 재인덱싱하지 않고 추가 수정된 부분만 증분 인덱싱을 수행하도록 기능을 구현하였으며, 전혀 다른 분야나 내용의 매뉴얼 데이터가 추가되어 임베딩 차원이 달라진 경우에는 전체 재인덱싱 기능을 사용할 수 있도록 하였습니다.

시스템 구성, 검색 및 진단 기능

검색 시 RAG³ 모드가 동작하는 경우를 두 가지로 구분하여 놓았습니다. 기본적으로는 질문에 PLC 주소나 관련 키워드 검색 시 RAG 모드가 작동되도록 자동 판별 기능을 적용하고 있습니다. 만약 수동으로 RAG 모드를 작동시키려면 질문 끝부분에 “/rag”를 사용하여 강제로 RAG 모드를 작동시킬 수 있도록 구현해놓았습니다.

RAG 모드의 검색 및 답변 생성 과정은 앞서 언급해드린 바와 같이 몇 가지 단계를 거쳐 진행됩니다. 우선 들어온 질문을 임베딩 벡터로 변환하여 PDF 문서 조각, PLC 프로그램 주석, 어드레스 맵에서 벡터 유사도 기반으로 상위 k개의 답변 후보를 찾는 후보군 추출 과정을 거칩니다. 이후 Cross-Encoder 기반의 재랭커 과정을 한 번 더 거치면서 질문과 초기 후보군을 질문-문맥 쌍으로 묶어서 의미 기반으로 다시 평가하여 최종 순서를 재정렬하게 됩니다.

이후, 추가로 아래와 같은 보정 점수를 반영하여 답변을 조정합니다.

- **키워드/주소 가산점** : 질문 내 등장한 PLC 주소(X, M 디바이스 등)와 동일한 주소가 있는 문단은 추가 점수 부여
- **사이트 기반 감점** : 질문에 ‘광고’라고 적혀있는데, 근거 파일이 ‘삼매봉’이면 신뢰도 소폭 감점
- **소스 다양성 유지** : PDF와 PLC 폴더 내에서 각각 균형 있게 결과가 나오도록 조정

마지막으로, 선택된 근거(답변)를 [NOTES] 블록으로 정리하여 LLM에 전달하고, LLM은 [NOTES]에 정리된 PDF/PLC 근거 및 질문맥락 등을 종합하여 자연어 답변을 생성하게 됩니다.

사용자 조정 파라미터

본 시스템은 사용자가 답변 생성에 관련된 과정을 조정할 수 있도록 다음과 같은 사용자 조정 파라미터를 두어 사용자가 질문한 의도를 좀 더 명확히 답변에 반영할 수 있도록 하였습니다. 해당 파라미터들은 사용자 화면 좌측 탭에 배치되어 있습니다.

- **검색 범위 설정**
 - PDF 참조 여부 : 체크 시 매뉴얼 문서(PDF)까지 검색, 해제 시 PDF 데이터 검색 제외
 - PLC 참조 여부 : 체크 시 PLC 및 어드레스맵 검색 포함, 해제 PLC 및 어드레스맵 검색 제외

3. RAG : Retrieval-Augmented Generation, 필요한 정보를 참고 데이터나 외부에서 찾아온 뒤, 그걸 바탕으로 답변을 생성하는 방식

• 검색 강도(PDF, PLC 적용)

- 역할 : 질문에 대한 인덱스 파일 검색 결과 중 유사도 상위 몇 개를 선정하여 AI 제공할지를 결정하는 파라미터
- 특징 : 값이 크면 근거가 다양해지지만 답변이 장황해질 수 있고, 값이 작으면 답변은 간결하지만 빠뜨리는 근거가 생길 수 있음

• RAG 임계 스코어 및 자동 RAG 여부

- RAG 임계 스코어

검색된 결과가 질문과 얼마나 유사한지를 정하여 값이 낮으면 일반 대화모드로 답변하며, 값이 높으면 확실한 자료만을 근거하여 답변함

- 자동 RAG 여부

기능을 켜면 AI가 자동으로 문서 기반 질문임을 판단하여 RAG 모드 작동, 기능을 끄면 일반 대화모드로만 작동

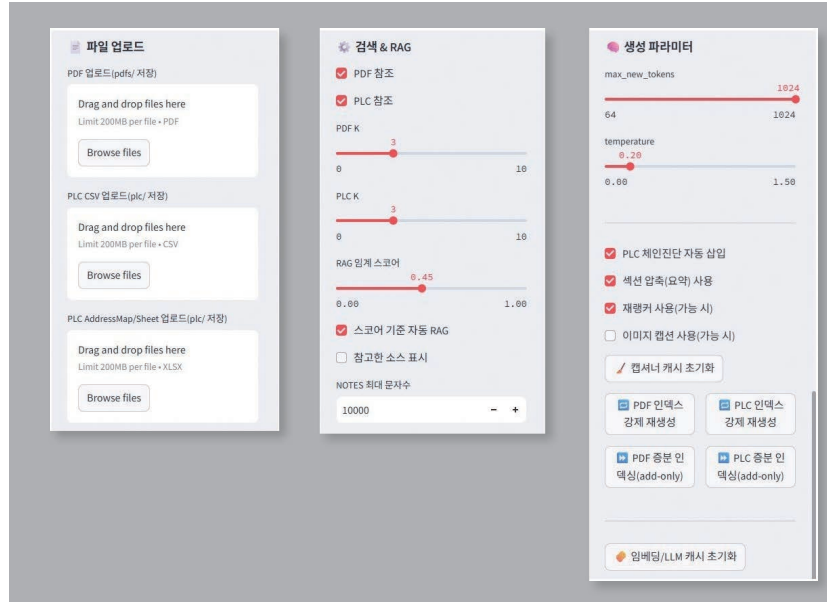


그림 7. 좌측 탭 파라미터 항목

• 생성 파라미터(LLM 답변 스타일)

- max_new_tokens : 답변 길이 한도를 나타냄
- temperature : 창의성/랜덤성을 조절하며, 0에 가까울수록 사실을 위주로 전달하며, 1에 가까울수록 표현이 자유로움

결론

AI 기반 원격제어 종합지원 시스템을 통해 본사 원격시스템 운영부서에서 보유하고 있는 방대한 양의 원격시스템 지식과 자료를 질의응답 모듈에 학습시켜, 폐쇄망인 원격제어망 환경에서도 사용자가 즉각적으로 관련 질의에 대한 답변을 받을 수 있게 되었습니다. 이를 통해 RF 및 송신직무 전문인력 및 지원자 급감으로 인한 과도한 업무량을 분산시키며, 동시에 현지 담당자분들의 원격시스템 관련 업무 노하우 축적 및 자체 대응력 강화에도 도움을 줄 수 있습니다.

또한, 본사 담당자가 장애 관련 민원을 받고 직접 대응해야 했던 기존의 방식에서, 가벼운 장애나 고장의 경우 챗봇을 통해 신속하고 편리하게 업무 지원을 받을 수 있습니다.

현재는 어드레스 맵과 PLC 프로그램 데이터의 정규화가 어려워 구현하지 못한 PLC 프로그램 자가 진단/수정 기능도 추가 개발한다면, 향후 고도화된 시스템을 통해 현지에서 자체적으로 PLC 프로그램을 수정하여 잘못 매칭된 경보 신호등을 정정하거나, 송신기 절체 조건 등을 운영 여건에 맞게 변경하여 전반적인 송신시스템 안정성 향상에 기여할 수 있을 것으로 보입니다.