과 업 지 시 서

「예지보전 검증용 열화 시나리오 기반 시뮬레이션 구현」

2026년 10월

GERI 구미전자정보기술원

Ⅰ 과업 개요

1. 과 업 명

○ 예지보전 검증용 열화 시나리오 기반 시뮬레이션 구현

2. 과업 기간

○ 계약일로부터 30일

3. 예산

○ 20,000,000원 이내(부가가치세 포함)

4. 과업 범위

○ 예지보전 검증을 위한 회전기계(모터·축·베어링) 열화·고장 시나리오(고장 모드·열화 곡선·수명 길이·잡음 수준)를 PyTorch 기반 시뮬레이션 모델(torch.nn.Module)로 설계·구현

○ 열화 시나리오에 따른 다채널 센서 시계열(기본 12채널: op1~op3, s1~s9)을 설정 파일 1개와 명령 1회로 배치 생성·수집하는 시험데이터 생성 파이프라인 구축(CSV·Parquet 데이터셋, 시나리오 로그·메타데이터 포함)

○ CSV·Parquet 데이터셋, 시나리오 로그·메타데이터, torch Dataset 호환 로더 및 CLI·YAML·간이 웹 기반 생성 제어 기능

○ 데이터 수집·보관 시스템과의 연동 검증(CSV 배치 전달·MQTT 송출) 및 검증용 수집 데이터셋 제공

○ 시뮬레이션 설계서·데이터셋 규격서·운영 매뉴얼·수집 데이터셋·소스코드 납품 및 결과보고서 제출

Ⅱ 과업 수행내용

목 적

○ 본 과업은 「수출제고를 위한 인공지능기반 미래전장 첨단장비 제어기술 개발사업」 과제의 예지보전(PdM, Predictive Maintenance) 알고리즘 검증에 필요한 열화 시나리오를 PyTorch 기반 시뮬레이션으로 구현하고, 이로부터 생성되는 시험데이터를 수집·축적하여 수집 시스템과 연동 가능한 검증 데이터 환경을 구축하는 것을 목적으로 한다.

○ 예지보전 알고리즘은 설비별 사이클(설비 1대의 운전 관측 1단위, 집계 주기) 단위의 다채널 센서 레코드로부터 잔여수명(RUL, Remaining Useful Life: 현재 시점부터 고장까지 남은 운전 사이클 수)을 예측하며, 공개 시뮬레이션 데이터로 검증을 마치고 실설비 연결이 후속 단계로 남아 있다.

○ 정상 상태부터 고장까지의 run-to-failure 데이터 확보에 드는 실설비 운전 비용·시간을 고려하여, 열화 지수·고장 모드·운전조건을 텐서 연산으로 구현하고 가상 설비를 배치 단위로 동시에 모사한다.

○ 생성 결과는 사이클별 특징량 데이터셋으로 수집하며, 예지보전 알고리즘 신규 개발·예측 정확도 보증 또는 실설비 현장 실증으로 범위를 확대하지 않는다.

○ 본 시뮬레이션은 물리 회전체·실물 센서·전용 하드웨어를 포함하지 않으며, 발주기관이 제공하는 PC/서버(CPU 또는 CUDA GPU)에 설치된 PyTorch 기반 소프트웨어가 가상 설비 여러 대를 유닛(unit: 개별 설비 식별 단위) 단위로 동시에 모사하여 열화 시계열을 생성하고 데이터셋으로 수집한다.

Ⅲ 과업 상세 수행내용

세부 수행범위

○ 과업수행자는 다음 항목에 따라 PyTorch 기반 열화 시나리오 시뮬레이션을 구현하고 시험데이터를 수집·검증한다.

No.	수행 항목	세부 수행내용	비고
1	열화 시나리오 모델(PyTorch)	- 고장 모드 2종(베어링 결함 진행, 불균형·정렬 불량 진행)의 열화 지수 h(t)∈[0,1]와 부하 변동을 torch.nn.Module 기반 열화 모델로 구현 - 열화 곡선 형태(선형·지수·구간선형)·수명 길이 분포(유닛별 사이클 수 범위)를 YAML 설정 파일 파라미터로 지정 - 고장 판정(h=1) 시 해당 유닛 종료 및 신규 유닛 자동 생성(run-to-failure 재현)	핵심 모델
2	운전조건·시나리오 프리셋	- 운전조건(회전수·부하율·주위 온도 조합)을 단일 / 다중(기본 3종) 모드로 지원하고 전환 규칙을 설정 파일로 정의 - 난수 시드 고정(torch.manual_seed) 시 동일 데이터 재현 보장	재현성 필수
3	다채널 센서 합성	- 채널 맵 기본안에 따른 기본 12채널(op1~op3, s1~s9)을 PyTorch 연산으로 합성 - 채널 간 물리적 상관 반영(부하 증가 시 전류·온도 상승, 결함 진행 시 첨도·결함 대역 에너지 상승 등) - 채널별 잡음(가우시안)·드리프트(랜덤워크) 설정, 결측·이상치 주입 옵션(비율·구간)	미분 가능 구조
4	시험데이터 배치 생성·수집	- 레코드 규격(14컬럼 + 시각)에 따른 사이클 레코드를 배치 생성, 가상 설비 동시 - 생성 데이터를 CSV·Parquet 데이터셋으로 수집·누적하고 시나리오 ID·난수 시드·모델 버전 메타데이터 기록 - 데이터셋 통계 요약(유닛 수·사이클 수·고장 유닛 비율) 및 열화 곡선·채널 시계열 시각화(PNG) 자동 생성	CLI 명령 1회로 생성
5	검증 기준정보·로그 관리	- 유닛별 고장 시점·정답 RUL·적용 시나리오 파라미터를 별도 로그로 저장(생성 레코드에는 미포함) - 검증용 내보내기(CSV) 및 torch.utils.data.Dataset 호환 로더 제공 - 학습/검증 분할(train/test), 윈도우 샘플링, RUL 라벨 생성 유틸리티 제공	알고리즘 성능 대조용
6	생성 제어 인터페이스	- 간이 웹 화면(로컬) 및 HTTP API로 생성 시작/상태 조회(진행률·유닛 상태)/데이터셋 다운로드 기능 제공 - 한국어 UI, 설정 파일 예제·튜토리얼 제공	웹 화면은 최소 기능
7	수집 시스템 연동·시운전	- 데이터 수집·보관 시스템(과업 2)에 CSV 배치 전달 및 MQTT(QoS 1) 송출 연동 시험(무손실 수신 확인) - 시운전 데이터셋 생성·납품 - 연동·재현성·생성 성능 시험 절차·결과를 결과보고서에 포함	발주기관 입회 검수

※ 구체적인 내용은 담당자와 협의 후 확정하여 진행함

전체 시스템 요약

입력·제어
YAML 설정 파일 1개 / CLI 명령 1회 / 간이 웹 화면·HTTP API

↓ 생성 시작 · 진행률/유닛 상태 조회 · 데이터셋 다운로드

과업 1 | PyTorch 기반 열화 시나리오 시뮬레이션
[발주기관 제공 PC/서버: CPU 또는 CUDA GPU]
열화 모델(torch.nn.Module) → 운전조건·프리셋 → 12채널 합성
→ 가상 설비 100대 이상 배치 레코드 생성·수집

↓ 입력 레코드와 검증 기준정보를 분리하여 저장

시험데이터	별도 기준정보·관리자료
CSV·Parquet 사이클 레코드 unit, cycle, timestamp, op1~op3, s1~s9 정답 RUL·고장 시점 미포함	시나리오 로그: 고장 시점·정답 RUL·파라미터 메타데이터: 시나리오 ID·시드·모델 버전 통계 요약 및 열화·채널 시계열 PNG

↓ 두 가지 활용 경로

경로 A | 수집 시스템 연동	경로 B | 데이터셋 직접 활용
CSV 배치 전달 / MQTT(QoS 1) 송출 → 과업 2 데이터 수집·보관 시스템 → 레코드 형식·수신 누락 여부 확인	CSV·Parquet + 별도 기준정보 → torch Dataset 호환 로더 → train/test 분할·윈도우·RUL 라벨

↓ 검증 데이터 제공

발주기관 예지보전 알고리즘 검증
알고리즘 입력 데이터와 정답 기준정보를 구분하여 성능 대조에 활용
※ 예측모델 신규 개발·정확도 보증은 본 과업 범위에서 제외

○ 과업 1은 발주기관 제공 PC/서버에서 시뮬레이션을 실행하고, 시험데이터와 검증 기준정보를 생성·수집하는 소프트웨어 구현 과업이다.

○ 과업 2는 데이터 수집·보관을 담당하며, 본 과업에서는 CSV 배치 전달 및 MQTT 송출의 연동 여부를 확인한다.

※ 물리 회전체·실물 센서·전용 하드웨어, 예지보전 알고리즘 신규 개발·예측 정확도 보증 및 실설비 현장 실증은 본 과업 범위에 포함하지 않는다.

데이터 레코드 규격(사이클 레코드)

○ 레코드 1행은 가상 설비(unit) 1대의 운전 사이클(cycle) 1회에 대한 특징량 관측값으로 구성한다. 기본 12채널에 unit · cycle을 더한 14컬럼과 시각(timestamp) 1개를 합하여 총 15 필드로 정의한다.

필드	개수	형식 및 정의
unit	1	개별 가상 설비 식별자(정수)
cycle	1	유닛별 운전 사이클 순서(정수)
timestamp	1	사이클 레코드의 시각(ISO 8601, UTC)
op1~op3	3	회전수 · 부하율 · 주위 온도 운전조건(실수)
s1~s9	9	채널 맵에 따른 센서 특징량(실수)

※ 필드 순서: unit, cycle, timestamp, op1, op2, op3, s1, s2, s3, s4, s5, s6, s7, s8, s9

○ CSV는 헤더를 포함한 UTF-8 형식으로 저장하고, Parquet는 동일한 필드 이름과 데이터 의미를 유지한다. MQTT 페이로드는 사이클 레코드 1건을 JSON 객체 1건으로 표현한다.

○ 시나리오 ID · 난수 시드 · 모델 버전은 메타데이터로 관리한다. 시각 부여, 유닛 재생성 시 식별자 구분 및 결측 표기 방식은 데이터셋 규격서에서 확정한다.

데이터 채널 및 통신 규격

○ 기본 채널은 운전조건 3개(op1~op3)와 센서 특징량 9개(s1~s9), 총 12개로 구성하고 unit · cycle · timestamp는 식별 · 시각 필드이며 채널 수에 포함하지 않는다.

※ 아래 표는 앞부분의 12채널 범위와 전류 · 온도 · 첨도 · 결함 대역 에너지의 상관 요구를 반영하여 기존 물리량을 재배치한 구성안이다. 최종 채널 배치 · 단위 · 합성 범위는 설계 단계에서 발주기관과 협의하여 확정한다.

채널	물리량(단위)	열화 지표 관계
op1	회전수 지령(rpm)	운전조건
op2	부하율 지령(%)	운전조건
op3	주위 온도(℃)	운전조건
s1	구동측(DE) 베어링 진동 가속도 RMS — 수평(g)	베어링 · 불균형
s2	구동측(DE) 베어링 진동 가속도 RMS — 수직(g)	베어링 · 불균형
s3	구동측(DE) 베어링 진동 가속도 RMS — 축방향(g)	베어링 · 불균형
s4	진동 첨도(kurtosis, 무차원)	베어링 결함 초기
s5	베어링 결함 주파수 대역 에너지(g^2)	베어링 결함
s6	1X 회전 주파수 진폭(mm/s)	불균형
s7	2X 회전 주파수 진폭(mm/s)	정렬 불량
s8	구동측(DE) 베어링 온도(℃)	부하 · 베어링 열화
s9	모터 상전류 RMS — 대표 1상(A)	부하 응답

○ 채널 맵은 YAML 설정 파일로 변경 가능하도록 구성하며, 과업 1의 데이터셋·인터페이스 규격서와 과업 2의 설비·채널 메타데이터는 동일한 맵을 사용한다.

○ 부하 증가 시 전류·온도 상승, 결함 진행 시 첨도·결함 대역 에너지 상승 등 앞부분에 명시된 상관을 채널 합성에 반영한다. 잡음·드리프트·결측·이상치 주입 조건은 설정값과 함께 관리한다.

※ 상기 물리량은 시뮬레이션이 생성하는 사이클별 특징량의 정의이며, 실물 센서 설치 또는 실제 설비 측정값의 취득을 의미하지 않는다.

연동·시운전 및 결과 정리

○ CSV 배치 전달과 MQTT 송출에 대해 송신 데이터와 과업 2 수신 데이터를 대조하여 레코드 형식·유닛별 사이클 순서·수신 누락 여부를 확인하고, 연동 시험 절차와 결과를 기록한다.

○ 재현성 시험은 동일 난수 시드·시나리오 설정을 적용하여 생성 데이터를 대조하고, 적용한 모델 버전 및 실행환경과 비교 결과를 기록한다.

○ 생성 성능 시험은 가상 설비 동시 모사 여부와 배치 생성·저장 동작을 확인하고, 시험조건·생성 유닛 수·레코드 수·소요시간을 결과보고서에 기재한다.

○ 시운전 데이터셋은 협의된 열화 시나리오와 단일/다중 운전조건에 따라 생성·납품한다. 세부 프리셋 구성과 데이터셋 규모는 착수·설계 단계에서 발주기관과 협의하여 확정한다.

※ 시험조건과 판정 방법은 발주기관과 협의하여 확정하고, 정량 결과는 실제 시험기록을 기준으로 기재한다.

Ⅳ 결과물

산출물 및 수량

○ 과업수행자는 다음 산출물을 납품하여야 한다.

산출물	수량	비고
PyTorch 기반 시뮬레이션 소프트웨어 (열화 모델 · 채널 합성 · 배치 생성 · 생성 제어)	1식	발주기관 제공 PC/서버에 실행환경 구성 전용 하드웨어 납품 제외
시뮬레이션 설계서 (모델 구조 · 열화 시나리오 · 운전조건 · 생성 파이프라인)	1부 (전자문서)	발주기관 승인
데이터셋 · 인터페이스 규격서 (15필드 · 12채널 · CSV/Parquet · 메타데이터 · MQTT/HTTP)	1부 (전자문서)	과업 2와 연동 규격 공유
운영 매뉴얼 (설치 · CLI/YAML · 간이 웹 · 로더 사용 · 장애 대응)	1부 (전자문서)	한국어 설정 예제 · 튜토리얼 포함
검증용 수집 · 시운전 데이터셋 (시나리오 로그 · 메타데이터 · 통계 요약 · PNG 포함)	1식 (전자파일)	CSV · Parquet 시나리오 구성 · 납품 규모는 협의 확정
소스코드 · 실행 파일 · 설정 파일 (Dataset 호환 로더 · 분할/윈도우/RUL 유틸리티 포함)	1식 (전자파일)	저작권 발주기관 귀속
결과보고서 (연동 · 재현성 · 생성 성능 시험 절차 및 결과)	1부 (전자문서)	시험조건 · 수행 결과 포함

※ 전용 실행장치 · 외함 · 전원 어댑터 · 케이블은 납품 대상에 포함하지 않으며, 발주기관 제공 PC/서버에 소프트웨어 실행환경을 구성한다.

Ⅳ 결과물

산출물 제출일정

○ 산출물은 계약일 기준 아래 일정에 따라 제출한다.

구분	제출 시기	내용
착수보고서	계약 후 1주 이내	수행 계획 · 세부 일정 · 시나리오 구성 및 실행환경 확인
시뮬레이션 설계서 · 데이터셋/인터페이스 규격서	계약 후 2주 이내	열화 모델 · 12채널 구성 · 레코드 · 로그 · 연동 규격을 정리하고 발주기관 승인 후 구현 착수
중간 보고	과업 기간 중간 시점	열화 시나리오 및 시험데이터 배치 생성 · 수집 기능 시연
최종 납품	계약일로부터 30일 이내 (과업 종료일까지)	시뮬레이션 소프트웨어 · 설계서 · 규격서 · 운영 매뉴얼 · 수집 데이터셋 · 로더 · 소스코드 및 결과보고서 제출

○ 세부 일정은 착수보고 시 발주기관과 협의하여 확정한다.

최종 납품 시 확인사항

○ 시뮬레이션 소프트웨어, YAML 설정 파일 및 데이터셋 · 메타데이터의 모델 버전과 시나리오 정보가 서로 대응하도록 제출한다.

○ Dataset 호환 로더와 분할 · 윈도우 샘플링 · RUL 라벨 생성 유틸리티의 사용 예제를 운영 매뉴얼에 포함한다.

○ 결과보고서는 실제 수행한 연동 · 재현성 · 생성 성능 시험의 조건 · 절차 · 결과를 포함하며, 생성 데이터셋과 시나리오 로그 · 메타데이터 · 통계 · PNG의 제출 내역을 정리한다.

※ 산출물의 파일명 · 버전 및 제출내역은 결과보고서와 일치하도록 정리한다.

V 계약 일반조건

가. 과업수행자는 계약일로부터 30일 이내에 계획에 의거 전체 과업의 수행에 차질이 없도록 발주기관과 긴밀히 협조하여 용역을 수행하여야 한다.

나. 과업계획서상의 용어는 일반적인 통념에 따라 해석하며 발주기관과 과업수행자간에 과업지시, 문맥해석 등에 대하여 해석상 차이가 있을 때에는 발주기관의 의견에 따라야 한다.

다. 과업의 수행을 위하여 관계기관과의 협조가 필요한 경우에는 발주기관에 협조를 요청할 수 있다.

라. 다음과 같은 행위가 발생하였을 때에는 특별히 인정할 만한 사유가 없는 한 위반행위로 간주하여 관계규정에 의거 조치 할 수 있다.

1) 제반 실시사항을 기한 내에 이행치 않을 때
2) 정당한 사유 없이 계약기간 내 과업을 완료할 능력이 없다고 인정되거나 현저하게 공정이 미달될 때
3) 과업수행이 성실하지 못하다고 인정될 때
4) 과업의 전부 또는 일부를 부당한 방법으로 하도급 주었을 때

마. 과업수행자는 정부의 제반규정 및 본 과업계획서에 따라 전문 기술을 최대한 활용하여 발주기관이 요구하는 기술 지원 서비스가 될 수 있도록 모든 노력을 다하여야 한다.

바. 과업 수행 시 세부 추진일정 등에 대하여 사전에 발주처에 협의 후 수행하여야 한다.