

용도설명 및 구매사양서

1. 품명	(국문) AI agent 기반 자율공정 통합운영시스템 (영문)		
2. 수량 / 단위		3. 금액	원
4. 연구과제명		5. 품목번호 (H S K N o .)	
6. 제작회사명 (국명)			
7. 국내제작 가능여부		8. 기기의 중복 보유여부	
9. 사용용도/ 내구년수			
10. 품명 및 세부사양		단위	수량
A.기본구성사양 1.AI agent 기반 자율공정 통합운영시스템 - AI agent 기반 자율공정 통합운영시스템 B.기타사양 1. Platform 1) Architecture: LiveTwinAX Workstation(GPU AI Pro R9700, CPU AMD 라이젠5 9600X, DDR5 메모리 128GB, SSD 4TB NVMe) 2) Control standard: EPICS Base 7.0.x, unmodified 3) Protocol: Channel Access(CA) + pvAccess(PVA) 4) OS: Linux x86_64(Rocky Linux 9 / Debian 12 이상 LTS), Winodws 10 이상 5) Deployment: Native / Container(Podman, rootless) 6) Network: 100% offline (망분리), 외부 API 호출 없음 7) Access control: 4-Role RBAC (Admin/Engineer/Operator/Auditor) 2. Functional modules 1) 디지털 트윈 공정 로직 및 자율공정 추론 모델 Process Logic 2) 실시간 신호 연계(EPICS DB / IO Editor / PLC FBD Logic) 3) 공정화면 Editor, 공정 변수 Replay, Historical DATA Report Builder 4) Unified DATA 통합 파이프라인 및 Vector DB 치환 파이프라인 5) 증강검색 Vector DB 치환 파이프라인 6) Vision AI 구현을 위한 영상처리 로직 블록 7) Physical AI 추론 연동 모델(Soft Sensor, Anormal Detector, Trend Predictor 외 6종) 8) 실시간 공정변수 3D 공정화면 Viewer 9) 다 분석 장비와 연동을 위한 DB 연계 10) Local LLM(On-premise) 기반 자연어 질의 데이터 분석 11) 멀티모달 AI agent 협업을 위한 상위 추론 모델 확장(향후) 3. Performance 1) Concurrent PV: 50,000 points 2) Scan rate: 1 Hz average (max 10 Hz), per-PV configurable 3) Data loss rate: ≤ 0.01% (1 Hz × 1,000 PV, 24 hours) 4) Alarm response: ≤ 100 ms 5) HMI refresh: ≤ 1 s (1,000 PV simultaneous) 6) History query: ≤ 1 s (1-day range) 7) Replay first load: ≤ 500 ms (5-min chunk) 8) ONNX inference: ≤ 100 ms per single inference		SYS	1.

9) Vector search: ≤ 1 s (100,000 vectors)

10) Local LLM response: ≤ 5 s (streaming)

4. Communication and AI integration

1) EPICS CA/PVA real-time PV subscription and control

2) Fieldbus 프로토콜 지원: EtherCAT(ESI 기반 ecmc 연동), ModbusTCP/RTU, OPC-UA, BACnet/IP, ADS(TwinCAT)

3) Multi-vendor PLC: 8 vendors (Virtual PLC)

4) Local LLM NL→SQL with GuardSQL verification

5) Vector DB + RAG retrieval, local VLM frame inference

6) Physics verifier gated closed-loop actuation

5. Data standard (UDATA)

1) EPICS7 pvAccess 기반 수집 (스칼라/파형/NTNDArray(영상))

2) Envelope 스키마 단일 카탈로그

3) 3-Tier storage

4) 쿼리형 분석엔진 기반 SQL + Vector DB 결합 질의

5) 보존정책 기반 자동 정리 (age/size, 참조 정합 보장)

6) S3 호환 오브젝트 스토리지 확장

7) 도메인별 의미론 프로파일 매핑 (시설별 의미론 체계 수용)

B. Detail specifications

1. Engineering module

1) Display editor

A) Screen authoring

- 드래그&드롭 배치, 화면 계층 및 페이지 관리
- Split view: 최대 9분할 동시 모니터링

B) Widget library (60종 이상)

- Display: TextDisplay, LED, MultiStateLED, Gauge, BarGauge, Thermometer, TankLevel, ProgressBar, DigitalDisplay, ByteMonitor

SET 1

- Input: Slider, NumericInput, ActionButton, ToggleSwitch, MomentarySwitch
- Chart: Realtime, XY, Waveform, XY-Waveform, Line (다중 Y축, 최대 10 PV)
- Graphic: Rectangle, Arc, Polyline, SVG, Tank
- Alarm

C) PV binding

- 위젯 속성별 PV 연결, 알람 severity 연동 색상 변경

2) DB editor

A) Visual editing

- 드래그앤드롭 레코드 배치 및 링크 연결
- Dagre 알고리즘 기반 자동 레이아웃

B) Record support: 40종 이상 표준 EPICS 레코드

C) Link handling

- INP / OUT / FLNK 필드 자동 링크 감지 및 시각화
- 링크 타입 및 프로세스 옵션(PP/NPP, MS/NMS) 편집

D) Analysis

- Entry point, forward chain, data flow 분석
- 순환 참조(circular reference) 감지
- 공정 분석, 오류·경고 탐지, 시나리오 기반 테스트, 결과 export
- 테스트 절차서 자동 생성

E) Simulation

- CALC 수식 평가, 처리 체인 실행, 알람 상태 시각화
- IOC 하이브리드 연동: 오프라인 시뮬레이션 값과 실시간 IOC 값 비교·동기화

3) IO editor

A) I/O point definition

- I/O 그룹: DI, DO, AI, AO, SP, String
- 아날로그 스케일링 및 시뮬레이션 파라미터 구성

B) Multi-vendor VirtualPLC export (8 vendors)

- Siemens S7, OPC UA, Modbus TCP, TwinCAT ADS, BACnet/IP,

- Allen-Bradley

- Mitsubishi MELSEC
- LS XGT

C) Auto generation

- 벤더별 주소 및 EPICS INP/OUT 링크 자동 생성
- io_config.json + EPICS HW .db 동시 생성·배포

D) Import / Export: CSV, JSON, EPICS DB

E) EtherCAT integration

- ESI(EtherCAT Slave Information) XML 파싱 및 장비 정보 조회
- TxPDO / RxPDO 매핑 조회, SDO(CoE) 객체 편집 및 초기값 설정
- EPICS DB 레코드 및 ecmc st.cmd 자동 생성
- 슬레이브 토폴로지 생성 및 전체 프로젝트 일괄 생성
- Beckhoff ESI 라이브러리 내장 (커플러, DI, DO, AI, AO)

4) Process editor

A) EPICS record node

- Analog: ai, ao, aai, aao
- Binary: bi, bo, mbbi, mbbo, mbbiDirect, mbboDirect
- Calculation: calc, calcout / Integer: longin, longout, int64in, int64out
- String: stringin, stringout, lsi, lso, printf
- Array: waveform, subArray, compress, histogram
- Control flow: fanout, dfanout, seq, sel, event, state, permissive, sub, aSub

B) Function block (48종)

- Arithmetic(9): ADD, SUB, MUL, DIV, MOD, ABS, SQRT, NEG, CALC
- Math(10): SIN, COS, TAN, ASIN, ACOS, ATAN, LN, LOG, EXP, POW
- Logic(6): AND, OR, NOT, XOR, SR, RS
- Comparison(6): GT, GE, EQ, NE, LT, LE
- Selection(5): SEL, MUX, MIN, MAX, LIMIT
- Signal(7): SCALE, DEADBAND, MOVING_AVG, RATE_LIMITER, INTEGRATOR, DERIVATIVE, NORM
- Conversion(5): BOOL_TO_REAL, REAL_TO_BOOL, DEG_TO_RAD, RAD_TO_DEG, CONST

C) Physics block: 검증 완료 도메인 물리 모듈 19종 이상

D) AI block (5종)

- SURROGATE_MODEL, PHYSICS_VERIFIER, VECTOR_DB_QUERY, AGENT_EXPLORER, IMAGE_INFER

E) Code generation

- 위상 정렬 기반 실행 순서 결정, 실행 코드 및 .db 자동 생성, 원클릭 실행

F) Logic editor (Ladder / FBD / SFC) 및 State machine editor 포함

5) SVG design studio

A) SVG 벡터 심볼 제작·편집 및 도메인별 심볼 라이브러리 관리

B) 심볼 속성 PV 바인딩: 색상, 회전, 크기, 가시성

6) Panel designer

A) Stencil library: 1,134 stencils + 228 terminal 좌표

B) Drawing standard

- IEC 60617 / KS C 0102 / ANSI Y32.2
- ISO 5457 도면틀, title block, zone grid
- Drawing scale: 1:1 ~ 1:100 정도법

C) Auto-IO wizard: io_config 기반 IO 모듈·DIN rail·단자대 자동 배치

D) Schematic generator: 표지 / 목차 / 전원 / 모듈 / 단자대 / 케이블

E) Wire routing: 직교(orthogonal) 자동 라우팅, junction dot 처리

F) DXF importer: 단일 / 다중 / BLOCK / 빌트인 라이브러리 ZIP

G) Export: DXF / EPLAN P8 / PDF / .drawio

H) Living drawing: PV ↔ 배선 상호 추적

2. 3D digital twin module

1) 3D editor

A) Scene authoring

- WebGL 기반 3D 장면 저작, 4-패널 레이아웃
- 이동·회전·스케일, 스냅, 그룹, 복제
- 뷰포트 셰이딩 모드 및 카메라 프리셋·단축키

B) Geometry catalog (31종)

- Basic(12): Box, Cylinder, Sphere, Cone, Torus 등
- Piping(7): Elbow, Tee, Reducer, Flange 등
- Structural(7): H-Beam, Channel, Angle, Plate 등
- Utility(5): Text geometry 등

C) Equipment preset (12종, 4 카테고리)

- Vessel: Tank(5 parts), Heat exchanger(9 parts), Reactor, Boiler/HRSG, Cooling tower
- Piping: Valve(5 parts), Separator
- Rotating: Pump(5 parts), Motor(6 parts), Compressor
- Material handling: Conveyor(10 parts), Filter

D) PBR material: metalness, roughness, emissive

E) PV binding (10종 속성)

- Material: color, emissive, emissiveIntensity, metalness, roughness, opacity

- Transform: position, rotation, scale (축별 지정)
 - Other: visibility (임계값 방식)
 - 보간: 선형 보간 및 값→색상 룩업(color map)
 - 바인딩 우선순위 제어 및 PV 구독 패턴 설정
- F) 장면 파일 저장·불러오기 및 외부 3D 포맷 반입
- 2) 3D runtime viewer

SET 1

- A) 편집된 장면의 운영자용 실행 뷰어 (편집 기능 비활성)
- B) EPICS PV 실시간 구독에 따른 3D 오브젝트 상태 자동 반영
- C) 연결 상태 표시 및 자동 재접속 처리
- 3) Image-to-3D modeling
- A) 2D 이미지·사진으로부터 3D 메쉬 모델 자동 생성
- B) 단일 이미지 및 다중 시점 이미지 입력 지원
- C) 로컬 추론: 외부 클라우드 전송 없이 기관 내부 GPU에서 처리
- D) 후처리: 폴리곤 감축, 스케일 정규화, 좌표계 정렬
- E) 생성 메쉬를 3D editor 장면에 배치하고 PV 바인딩 적용
3. Data acquisition and historian module
- 1) DAQ monitor
- A) 수집 상태 실시간 관측: dropped, rate_mbps, queue 적재량
- B) Go 기반 동시성 제공
- C) 저장 용량 사용을 다단계 경고
- 2) Trends
- A) 시계열 트렌드 조회 및 비교, 다중 PV 다축 표시, 구간 확대·이동
- B) 실시간 / 이력 데이터 소스 전환
- 3) Binary chunked recording
- A) Chunk format: magic "CREC", version 1, header 64 Byte
- B) Chunk Data Format
- C) Samples per chunk: 약 300 (1 Hz 기준)
- D) Retention: 용량 제한, 정책 기반 자동 정리, 보존 기간 설정
- G) Recording control API: start / stop / status
- 4) Replay viewer(공정변수)
- A) 청크 단위 스트리밍 재생 (프리페치 지원)
- B) 구간 탐색, 배속 재생, 다중 PV 동기 재생, chart replay
- C) Range playback 및 서버측 history API 연동
- D) EPICS Archiver Appliance 연동 조회
- 5) Report builder(Historical Data)
- A) 4-패널 레이아웃 리포트 서식 저작
- B) Element (24종)

- Text & layout(6): title, label, text, divider, pageBreak, image

SET 1

- Graphics(6): line, spline, arc, rect, circle, ellipse
 - Data(9): trendChart, dataTable, statisticsBox, kpiCard, barChart, pieChart, minMaxTable, changeLogTable, calculatedTable
 - EPICS(1): pvValue / Alarm & status(1) / HMI snapshot(1)
- C) PDF 출력 및 정기 자동 생성 예약
4. UDATA standard module (비정형 과학데이터 표준)
- 1) Transport standard
- A) EPICS 7 pvAccess + normative types 기반 수집
- B) 스칼라 / 파형(배열) / 영상·이미지(NTNDArray) 통합 수송
- C) 독자 포맷 신설 없이 표준 규격 준수, 기존 스칼라 파이프라인과 무수정 공존
- 2) Catalog
- A) 이종 데이터를 단일 봉투(Envelope) 스키마로 통합 관리
- B) 3-tier 저장 정책 자동 라우팅
- T1 인라인: size ≤ inline_max (기본 1 MB) → parquet BLOB 저장
- 컬럼 프로젝션으로 BLOB 미접근 시 조회 비용 0
- T2 사이드카: 종대형 페이로드 외부 파일 분리 + 카탈로그 참조
 - T3 직결: 대용량 스트림 직결 기록 후 카탈로그 등재
- C) 메타데이터 기반 데이터셋 탐색 및 계보(lineage) 추적
- D) 도메인 의미론 프로파일 매핑 필드(ids_mapping)
- 시설별 의미론 체계를 프로파일로 등록·수용
- 3) Policy
- A) 보존정책 관리: 보관 기간(age) 및 용량(size) 기준
- B) 정책 기반 자동 정리 시 참조 정합성 보장 (참조 중 데이터 삭제 방지)
- C) 삭제 대상 사전 확인(dry-run) 및 정책 적용 이력 관리
- 4) Nodes
- A) 무데몬(daemon-less) 구조의 다노드 연합 질의(federated query)

B) 노드 상태 조회 및 클러스터 구성 관리
 C) S3 호환 오브젝트 스토리지 연동 확장
 5) Search
 A) 자연어 질의 기반 데이터 및 영상 프레임 의미 검색
 B) 질의문과 저장 데이터를 동일 임베딩 모델로 벡터화 후 코사인 유사도 산출
 C) 검색 결과 썸네일 그리드 및 유사도 표시
 D) 벡터공간 불일치 / 결과 없음 / 추론엔진 부재 상황 명시적 안내
 6) Query API
 SET 1
 5. Physical AI and local LLM module
 1) Local LLM inference
 A) 기관 내부 서버에서 동작하는 로컬 언어모델 추론 엔진
 SET 1
 B) 외부 클라우드 API 호출 없이 폐쇄망에서 전 기능 동작
 C) 경량 / 대형 모델 교체 적용이 가능한 개방형 구조
 D) 최적화 모델 적용을 통한 GPU 메모리 효율 운용
 E) 추론 엔진 부재 시 내장(builtin) 폴백 경로로 기본 기능 유지
 2) Natural language query (NL→SQL)
 A) 자연어 질문 → 데이터 질의문(SQL) 1-hop 자동 변환
 B) GuardSQL 안전 검증
 - SELECT / WITH 단일문만 허용
 - DDL, read_parquet, 원시 BLOB 뷰 접근 차단
 C) LLM 전용 평탄 스키마 뷰 제공으로 프롬프트 토큰 최소화
 D) 티어링 기반 토큰 경제: LLM에는 통계 필드·속성·벡터만 노출
 E) 저장된 EPICS 이력데이터에 대한 직접 추출·집계·분석
 3) Vector DB and RAG
 A) 시계열·이벤트·영상 데이터의 벡터 임베딩 및 색인
 B) 유사 운전 이력 검색, 유사 알람 사례 검색, 운전 조건 추천
 C) 검색 문맥 결합 검색증강생성(RAG) 응답
 D) 사용자별 질의 이력 격리
 4) Vision inference
 A) 로컬 비전언어모델 기반 영상 프레임 캡션 생성 및 임베딩
 B) 자연어 → 프레임 검색 (텍스트-이미지 교차 검색)
 C) 프레임 구조화 판정: state / severity / note
 D) 판정 결과의 물리 검증기 연계를 통한 안전 계보 구성
 E) 비정상 캡션 차단 가드로 지식베이스 오염 방지
 5) Physical AI model tier
 A) T1 surrogate: 데이터 기반 근사 모델, ONNX 추론
 B) T2 PINN: 물리정보 신경망, PDE 잔차를 손실함수로 학습 (실측 데이터 불요)
 C) T3 hybrid: 물리 수식 블록 + AI 잔차 보정 합성
 D) 추론 엔진: in-process onnxruntime (T1/T2/T3 공통 경로)
 6) Safety architecture
 A) Physics verifier: AI 출력의 물리적 타당성 검증 및 액추에이션 게이팅
 - 위반 시 PV 쓰기 차단(blocker) 또는 경고(non-blocker) 분기
 B) Agent 자율 루프: perception → reasoning → action
 - Physics-guided 탐색 전략 5종, vector DB 사례 기억 연동
 C) 3단계 자율화 모드: advisory / supervised / autonomous
 D) Safe-park 및 수동 전환(kill switch) 상시 제공
 E) 모든 자동 반영 행위에 대한 감사 로그 기록
 6. Operation and project module
 1) Runtime viewer
 A) 운영자 전용 실행 화면 (편집 기능 비활성, 톨바 잠금, 오조작 방지)
 B) 실시간 PV 감시 및 조작, 화면 전환
 C) 알람 관리 (ISA-18.2 준수)
 - 알람 상태 천이, 확인(acknowledge), 억제(shelving), 저널
 - 우선순위 분류 및 알람 배너 / 테이블 / 리스트 표시
 - PostgreSQL alarm_config 기반 알람 설정 관리
 2) Project manager
 A) 프로젝트 단위 자산 통합 관리
 - 화면, DB, IO, 로직, 3D 장면, IOC 구성
 B) 이중 루트 구조: 마켓플레이스 원본(읽기전용) / 사용자 워크스페이스
 C) 템플릿 기반 신규 생성 및 원본 보호
 D) 판본(revision) 관리
 - git 기반 커밋, 판본 목록 조회, diff 비교, 이전 판본 복원
 - base64 컨테이너 파일(.clpd/.cld) 전용 diff 계층 제공
 - 업스트림 템플릿 갱신 감지 및 변경분 비교

E) 자산 소유권 관리 및 인증 연동, 참조 관계(usedBy) 추적
 F) 참조 자산 핀 고정 및 stale 상태 표시
 3) Multi-user access control
 A) 4-Role RBAC
 - Administrator: 사용자 관리, 라이선스, 전체 설정
 - Engineer: 에디터 편집 및 프로젝트 빌드 (그룹별 권한)
 - Operator: 런타임 조작 및 알람 확인
 - Auditor: 읽기 전용, 감사 로그 조회
 B) 1 Server + N Browser 동시 접속
 C) 동시 편집 충돌 방지(edit lock)
 D) 감사 로그: PV 쓰기, 설정 변경, 로그인 전 항목 기록
 SET 1
 7. System control module (EPICS IOC)
 1) livetwinAX IOC
 A) EPICS Base 7.0.x 무변경 사용, 표준 CA + pvAccess 제공
 SET 1
 B) synApps 모듈 호환 (motor, areaDetector, sscan, autosave 등)
 C) 다중 IOC 구성 및 supervisory IOC 패턴 지원
 2) livetwinExt custom record (7종)
 A) pidRecord: PID 제어 (direct/reverse, anti-windup, bumpless)
 B) interlockRecord: N-조건 인터록, 위반 메시지 자동 결합
 C) filterRecord: 1st/2nd order, EMA, moving average, median
 D) rampRecord: setpoint ramp (모드 / 트리거 / 변화율 제어)
 E) statsRecord: 윈도우 기반 min / max / mean / stddev
 F) psychroRecord: 습공기 물성 연산
 G) distillRecord: 증류 단(stage) 연산
 3) Code generation
 A) Process editor 캔버스 → 위상 정렬 → 실행 코드 및 .db 파일 자동 생성
 B) 생성물 원클릭 실행 및 IOC 기동 연동
 8. Security, deployment and facilities
 1) Network isolation
 A) 인터넷 연결 없이 100% 오프라인 설치·운용
 B) 라이선스 검증: 로컬 공개키 서명 방식, 외부 인증서버 미의존
 C) 언어모델 가중치·벡터 데이터 전량 기관 내부 저장
 D) 소프트웨어 갱신: 오프라인 매체(USB 등) 방식
 2) Authentication and encryption
 A) 비밀번호 bcrypt 해시 (서버 측 처리)
 B) JWT 기반 세션 관리, 시크릿 32자 이상 강제, 유효 세션 만료
 C) 데모 모드 또는 기본 시크릿 사용 시 서버 기동 거부
 D) 통신 구간 TLS 암호화, 저장 데이터 암호화 옵션
 E) EPICS channel access security(.acf) 설정 지원
 3) System requirements
 A) OS: Rocky Linux 9 또는 Ubuntu 22.04 LTS (x86_64)
 B) Runtime: Node.js 22 이상, Go 1.24 이상, Python 3.10 이상
 C) Container: Podman (rootless 권장) + macvlan 네트워크
 D) Database: PostgreSQL (알람 설정 및 사용자 관리)
 E) Storage: 이력 데이터 저장용 NVMe SSD 및 백업 체계
 F) GPU: 로컬 LLM·비전 추론용 (모델 규모에 따라 산정)
 G) Browser: Chromium 계열 최신 버전
 4) Backup and support
 A) 정기 백업 및 복구 절차 제공
 B) 설치 패키지 백업본, 시스템 구성도, 인터페이스 정의서 제공
 SET 1
 C. Standard Acc's (표준 부속품)
 1. LiveTwinAX
 1) 소프트웨어 설치 매체 및 영구 사용 라이선스
 2) 사용자 매뉴얼
 3) 관리자 매뉴얼 (설치·백업·복구·라이선스 관리)
 4) 시스템 구성도
 5) 인터페이스 정의서
 6) 설치 및 시운전
 7) 사용자 교육 (운영자 과정, 엔지니어 과정)

① 현장 납품(), ② 현장 설치(), ③ A/S필요(), ④ 기타()