

포럼표준(국문표준)

ESGTVS-1-2025-03-R1-V1.0

제정일: 2025년 09월 03일

모빌리티 부품 공통 조립
공정(용접·도장·열처리 등) 에너지 절감을
위한 멀티 에이전트 참조 모델
Multi-Agent Architecture for Energy Reduction in
Common Assembly Processes of Mobility
Components

표준초안 검토 위원회 디지털 융합 K-ESG 혁신 표준화 포럼 표준분과위원회
표준안 심의 위원회 디지털 융합 K-ESG 혁신 표준화 포럼 총회

	성명	소 속	직위	위원회 및 직위
표준(과제) 제안	김명일	한국과학기술 정보연구원	책임	표준분과장
	서동우	한국과학기술 정보연구원	책임	표준분과 위원
	김남규	한국과학기술 정보연구원	책임	표준분과 위원
	서동우	한국과학기술 정보연구원	책임	표준분과 위원
표준 초안 에디터	서동우	한국과학기술 정보연구원	책임	표준분과 위원
사무국 담당	최진철	(재)천안과학산업진흥원	팀장	간사

본 문서에 대한 저작권은 CISTEP에 있으며, CISTEP과 사전 협의 없이 이 문서의 전체 또는 일부를 상업적 목적으로 복제 또는 배포해서는 안 됩니다.

발행인 : 디지털 융합 K-ESG 혁신 표준화 포럼 의장
발행처 : 천안과학산업진흥원, 디지털 융합 K-ESG 혁신 표준화 포럼
31035, 충남 천안시 서북구 직산읍 직산로 110
Tel : 041-588-9161, Fax : 041-588-8827
발행일 : 2025.09.03.

서 문

1 표준의 목적

이 표준은 모빌리티 부품 조립 공정 중 핵심 에너지 소비 구간인 용접(Welding), 도장(Painting), 열처리(Heat Treatment) 공정에서의 에너지 사용 현황을 실시간으로 모니터링하고, 스마트 제어를 통해 최소 5~15% 수준의 에너지 절감을 달성하기 위한 에이전트 기반 분산 제어 아키텍처를 표준화하는 목적이 있다.

2 주요 내용 요약

이 표준을 통해 불필요 공회전 제거로 에너지 소비 최대 절감과 5G-TSN 등 고속 네트워크, 디지털 트윈 연계로 실시간 반응성·시뮬레이션 강화가 가능하다. 또한 ESG경영 목표 달성 지원 및 스마트 그리드·탈탄소 생태계 연계 확대도 가능하다.

- (실시간 에너지 모니터링): 설비별 전력, 압축공기, 열에너지 사용량을 1초 단위로 수집하여 중앙과 엣지에서 동시 시각화 및 분석
- (자율 제어): 머신러닝 및 규칙 기반 제어 로직을 결합하여 공정 조건에 따라 최적의 운전 파라미터를 자동으로 산출·적용
- (분산 아키텍처 표준화): 엣지-클라우드 하이브리드 환경에서 에이전트, 오케스트레이터, 데이터베이스, UI를 포함한 각 계층별 인터페이스·프로토콜을 정의
- (확장성·유연성): 신규 공정 또는 설비가 추가되더라도 최소한의 개발로 에이전트 모듈을 확장·연동할 수 있는 모듈러 설계
- (보안·신뢰성 확보): TLS·Mutual Auth 인증, HMAC 서명, 네트워크 분리와 같이 OT/IT 통합 환경에서 요구되는 보안 수준을 보장

3 인용 표준과의 비교

해당 사항 없음

Preface

1 Purpose

The purpose of this standard is to monitor energy usage in real time in the welding, painting, and heat treatment processes, which are key energy-consuming sections of the mobility parts assembly process, and to standardize an agent-based distributed control architecture to achieve energy savings of at least 5–15% through smart control.

2 Summary

This standard enables maximum energy consumption reduction by eliminating unnecessary idling, and enhances real-time responsiveness and simulation through high-speed networks such as 5G-TSN and digital twin linkage. It also supports the achievement of ESG management goals and expands linkage with smart grids and de-carbonization ecosystems.

3 Relationship to Preference Standards

None

목 차

1	적용 범위	1
2	인용 표준	1
3	용어 정의	1
4	약어	2
5	모빌리티 부품 공통 조립공정(용접·도장·열처리 등) 에너지 절감을 위한 멀티 에이전트 참조 모델 개요 · 2	
5.1	모빌리티 부품 공통 조립공정(용접·도장·열처리 등) 에너지 절감을 위한 에이전트 참조 모델 · 2	
5.2	멀티 에이전트별 역할 구성요소 및 주요 기능	4
5.3	에이전트 공통 기능 요소	5
5.4	KPI 및 성능 지표	5
5.5	예외 처리 및 복구 시나리오	6
5.6	보안 요구사항 및 운영 절차	7
5.7	표준 준수 및 인증 절차	7
부록 I -1	지식재산권 확약서 정보	9
I -2	시험인증 관련 사항	10
I -3	본 표준의 연계(family) 표준	11
I -4	참고 문헌	12
I -5	영문표준 해설서	13
I -6	표준의 이력	14

모빌리티 부품 공통 조립공정(용접·도장·열처리 등)
에너지 절감을 위한 멀티 에이전트 참조 모델
(Multi-Agent Architecture for Energy Reduction in Common
Assembly Processes of Mobility Components)

1 적용 범위

이 표준은 모빌리티 산업에서도 아래의 모빌리티 공통 조립공정에서 적용 가능한 표준이다.

- 용접(Welding): 로봇·수동 용접 설비의 전력·아크 전류·토치 온도 최적화
- 도장(Painting): 자동 분사형 도장기의 노즐 압력·용제 소비·건조 온도 제어
- 열처리(Heat Treatment): 가스·전기로 및 열풍 건조기의 소비량·온도 프로파일 관리

2 인용 표준

해당 사항 없음

3 용어 정의

3.1 IIoT

Industrial Internet of Things의 줄임말로 산업용 사물인터넷을 일컫음

3.2 에이전트

자율 탐지·예측·제어 기능을 수행하는 소프트웨어 모듈

3.3 OPC UA

Open Platform Communications Unified Architecture의 줄임말로 산업 통신 표준을 일컫음

3.4 MQTT

Message Queuing Telemetry Transport의 줄임말로 경량 메시징 프로토콜을 일컫음

3.5 REST API

Representational State Transfer Application Programming Interface의 줄임말

3.6 KPI

Key Performance Indicator의 줄임말로 성과 지표를 일컫음

3.7 SLA

Service Level Agreement의 줄임말로 서비스 수준 협약을 일컫음

4 약어

IIoT	Industrial Internet of Things
KPI	Key Performance Indicator
MQTT	Message Queuing Telemetry Transport
OPC UA	Open Platform Communications Unified Architecture
REST API	Representational State Transfer Application Programming Interface
SLA	Service Level Agreement

5 모빌리티 부품 공통 조립공정(용접·도장·열처리 등) 에너지 절감을 위한 멀티 에이전트 참조 모델 개요

5.1 모빌리티 부품 공통 조립공정(용접·도장·열처리 등) 에너지 절감을 위한 멀티 에이전트 참조 모델
모빌리티 부품 조립 공정(용접·도장·열처리 등)은 전체 생산 비용에서 에너지 비용이 차지하는 비중이 20~30%에 이르며, 글로벌 탄소 중립 요구와 에너지 가격 변동성에 직접 노출된다. 본 표준화 추진 배경과 필요성은 다음과 같다.

- (에너지 비용 절감 압력 강화) 국제 유가 및 전력 요금 변동이 심화됨에 따라 제조원가 상승 요인이 커지고 있으며, 특히 고에너지 공정인 용접·도장·열처리에서의 효율화가 기업 경쟁력 확보에 필수적이다.
- (탄소 배출 규제 강화) 국외 탄소세 도입 및 국내 온실가스 목표치 상향 조정으로 제조업체의 Scope 1·2 배출량 관리 의무가 강화되어, 공정별 에너지 관리 표준 마련이 시급하다.
- (디지털 전환 가속) Industry 4.0/IIoT 확산으로 엣지·클라우드 융합 아키텍처가 보편화되며, 분산 제어 및 데이터 기반 의사결정이 가능해져 표준화된 에이전트 설계·운영이 필요하다.
- (운영 복잡도 증가) 다양한 제조 라인·설비, 공급망 연계로 시스템 통합 비용과 운영 복잡도가 증가하고 있어, 모듈화·인터페이스 표준이 없을 경우 유지보수와 확장이 어려워진다.

참조모델의 구성은 에이전트별 정의, 에이전트 공통 기능, KPI 및 성능 지표, 예외처리, 보안 요구 사항 및 운영절차, 표준준수 준수 및 인증절차로 구성된다.

아키텍처	구성요소
에이전트	용접, 도장, 열처리, 오케스트레이션
에이전트 공통기능	인터페이스, 예측제어, 이벤트 대응 등
KPI 및 성능지표	에너지 소비감 감소율, 타임 개선율, 가용성 등
예외처리	연결장애, 예측오류, 분리 감지 등
보안요구 사항	인증인가, 데이터 무결성, 방화벽 등
표준준수 및 인증	설계검증, 성능 테스트, 인증 준비 등

(그림 5-1) 참조 모델 아키텍처 및 구성요소

5.2 멀티 에이전트별 역할 구성요소 및 주요 기능

각 모듈의 다음과 정의하며, 개발·운영팀 간 인터페이스를 표준화한다.

<표 5-1> 멀티 에이전트 기능 및 설명

에이전트	기능 및 설명
(용접) Welding Agent	모니터링: 전력, 전류, 전압, 토치 온도
	아크 전류·전압 최적화, 실시간 감전류 조정, 용접 품질 유지
	알림: 비정상 전력 급증 시 경보 발행 및 관리자 SMS 전송
(도장) Painting Agent	데이터 수집: 분사 압력, 노즐 온도, 용제 소비량
	최적화: 건조 온도 및 풍량 최적 스케줄링, 습도 영향 보정
(열처리) Heat Treatment Agent	이상 탐지: 시계열 이상치 탐지 기반 초기 알림
	에너지 관리: 가스 소비량, 로 내부 온도 실시간 기록
	스케줄링: 예열·보온·냉각 단계별 파라미터 최적화, 피드백 루프 제어
	효율 개선: 재열 구간 최소화, 보온 효율화 로직 적용
(오케스트레이션) Agent Orchestrator	시나리오 실행: JSON 정의 기반 다중 에이전트 협업 워크플로우 관리
	전역 최적화: 생산 계획·에너지 제한을 고려한 MILP 기반 배치 스케줄 조정
	규칙 배포: GitOps 원칙에 따라 모델·규칙 버전 관리 및 롤백
	스케줄링 : 30분 주기 재스케줄링, 리소스 제약(전력·가스) 반영
	조건부 알림: SLA 임박, 장비 이상 시 다양한 채널로 전파
	버전 관리: 회귀·강화학습 모델 메타데이터 및 아티팩트 관리
	고해상도 저장: 1초 단위 데이터 인제스트, 10일 리텐션 후 일별 롤업
	메타데이터: 공정·설비·에이전트 구성, 시나리오 정보
	로그: 에이전트 동작 기록, 사용자 계정·권한, 변경 이력
	KPI 시각화: 소비량, 절감율, 사이클 타임, 알람 발생 현황
	알림 서비스 : 이메일(SMTP), SMS(Gateway), 푸시(Firebase)

5.3 에이전트 공통 기능 요소

각 에이전트는 공통 라이브러리를 통해 다음 기능을 구현해야 한다.

<표 5-2> 에이전트 공통 라이브러리 및 세부 기능

공통 라이브러리	세부 기능
센서/장비 인터페이스	OPC UA Client를 통한 태그 폴링 : 200ms 주기, 비동기 폴링 스레드 분리로 I/O 차단 최소화 예외 처리 : 연결 실패 시 5초 간격 재시도, 5회 실패 후 관리자 알림 데이터 수집 · 전처리 : 윈도우 배치(1초 단위)로 집계, 결손치 선형 보간 이상치 필터링: $\pm 3\sigma$ 범위 밖 데이터 마스킹 후 알람
예측 제어	회귀 모델: XGBoost 기반 10분 후 소비량 예측, RMSE <5% 검증 강화학습: DQN 에이전트 주간 재학습, 타깃 네트워크 동기화 주기 24시간
이벤트 대응	임계치 초과 : MQTT QoS1 메시지 발행, alert/{agent_id} 토픽 구독자 자동 알림 자동 복구: 파라미터 원상 복구, 루프백 리포트
통신 · 보안	TLS1.3 + Mutual Auth: 클라이언트 · 서버 양방향 인증, 인증서 주기적 교체(1년) Payload 무결성: HMAC-SHA256 서명, 키 로테이션(월별)

5.4 KPI 및 성능 지표

프로젝트 성과를 체계적으로 평가하기 위한 KPI와 목표치를 정의한다.

KPI 지표	설명	목표치
에너지 소비 감소율	월별 대비 전력·가스 사용량 총합 절감 비율	≥10% 절감
사이클 타임 개선율	공정 단위 평균 사이클 타임 단축 비율	≥5% 단축
시스템 가용성 (High Availability)	24x7 가용성 비율, 연간 다운타임 허용치	≥99.5%
알람 오탐율 (False Positive Rate)	전체 알람 대비 오탐 경보 비율	≤2%
모델 예측 정확도 (RMSE)	에너지 소비 예측 모델 평균 오차율	≤5% RMSE
배포 리드타임	시나리오/모델 변경 후 프로덕션 반영까지 소요 시간	≤30분

(그림 5-2) KPI 및 성능 지표

- * 에너지 소비 감소율 = (Baseline - Actual) / Baseline * 100%
- * 사이클 타임 개선율 = (PrevAvg - CurrAvg) / PrevAvg * 100%

5.5 예외 처리 및 복구 시나리오

- OPC UA 연결 장애: 5회 재시도 후 Fallback 모드(이전 파라미터 유지), 관리자 문자 알림
- 모델 예측 오류(RMSE 초과): 이전 안정화 파라미터로 즉시 롤백, 재학습 트리거
- 네트워크 분리 감지: 로컬 로그에 임시 저장, 네트워크 복구 시 일괄 전송
- 보안 인증 실패: TLS 핸드셰이크 오류 즉시 통신 차단, 보안 운영팀 알림

<표 5-3> 예외처리 및 복구시 통신 프로토콜 및 API 명세

프로토콜	API 명세																														
OPC UA	버전: OPC UA 1.04 (Part 1~14 호환) 보안 정책: Basic256Sha256, TLS1.2 Mutual Auth 태그 폴링: 200ms 단위 비동기 폴링 예외 처리: Watchdog 타이머(300ms) 초과 시 세션 재생성																														
5.2 MQTT	버전: MQTT 3.1.1 브로커: Mosquitto 또는 EMQX QoS: 2 (Exactly once) 주제(Topic) 네이밍 규칙: /factory/{site}/{line}/{agent}/{metric} • 페이로드 스키마: <pre>{ "timestamp": "ISO8601", "agent_id": "string", "metric": "string", "value": number, "unit": "string", "signature": "HMAC-SHA256" }</pre>																														
RESTful API (HTTPS)	5.3 RESTful API (HTTPS) <table><tr><th>메서드</th><th>경로</th><th>설명</th><th>요청 스키마</th><th>응답 스키마</th></tr><tr><td>GET</td><td>/api/v1/agents/{id}/status</td><td>에이전트 현재 상태 조회</td><td>—</td><td>StatusResponse</td></tr><tr><td>POST</td><td>/api/v1/agents/{id}/commands</td><td>제어 명령(파라미터 변경 등) 전송</td><td>CommandRequest</td><td>CommandResult</td></tr><tr><td>PUT</td><td>/api/v1/scenarios/{sid}</td><td>시나리오 설정(배치/롤백)</td><td>ScenarioConfig</td><td>ScenarioStatus</td></tr><tr><td>GET</td><td>/api/v1/kpis?start={start}&end={end}</td><td>KPI 이력 조회</td><td>—</td><td>KPIList</td></tr><tr><td>DELETE</td><td>/api/v1/models/{modelId}</td><td>ML 모델 버전 삭제</td><td>—</td><td>DeleteConfirmation</td></tr></table>	메서드	경로	설명	요청 스키마	응답 스키마	GET	/api/v1/agents/{id}/status	에이전트 현재 상태 조회	—	StatusResponse	POST	/api/v1/agents/{id}/commands	제어 명령(파라미터 변경 등) 전송	CommandRequest	CommandResult	PUT	/api/v1/scenarios/{sid}	시나리오 설정(배치/롤백)	ScenarioConfig	ScenarioStatus	GET	/api/v1/kpis?start={start}&end={end}	KPI 이력 조회	—	KPIList	DELETE	/api/v1/models/{modelId}	ML 모델 버전 삭제	—	DeleteConfirmation
메서드	경로	설명	요청 스키마	응답 스키마																											
GET	/api/v1/agents/{id}/status	에이전트 현재 상태 조회	—	StatusResponse																											
POST	/api/v1/agents/{id}/commands	제어 명령(파라미터 변경 등) 전송	CommandRequest	CommandResult																											
PUT	/api/v1/scenarios/{sid}	시나리오 설정(배치/롤백)	ScenarioConfig	ScenarioStatus																											
GET	/api/v1/kpis?start={start}&end={end}	KPI 이력 조회	—	KPIList																											
DELETE	/api/v1/models/{modelId}	ML 모델 버전 삭제	—	DeleteConfirmation																											

5.6 보안 요구사항 및 운영 절차

- 인증·인가
 - Mutual TLS: 클라이언트·서버 상호 인증, 인증서 만료 30일 전 갱신 알림
 - OAuth2.0 JWT: REST API 접근 제어, 토큰 만료 1시간, Refresh Token 24시간
- 데이터 무결성
 - MQTT HMAC-SHA256: PAYLOAD 서명, 월별 키 로테이션
 - HTTPS: TLS1.3 암호화, 강제 HTTPS 리디렉션
- 네트워크 분리 및 방화벽
 - VLAN 구분: OT(192.168.x.x), IT(10.x.x.x)
 - 방화벽 ACL: 포트 별 최소 권한 부여
- 로그·감사
 - Fluentd -> ElasticSearch: 에이전트 로그 중앙화, 보존 기간 1년
 - SIEM 연동: 이상 패턴 탐지 룰, 실시간 경보
- 취약점 관리
 - 분기별 스캔: OWASP Top10, SANS Top25
 - 긴급 패치: 24시간 이내 배포 프로세스
- SLA 모니터링
 - 가용성: 1분 단위 체크, 15분 내 복구 목표
 - 성능: 예측 지연 ≤2초, 데이터 처리율 ≥1000건/초

5.7 표준 준수 및 인증 절차

- 설계 검증
 - 내부 아키텍처 리뷰: 개발·보안·운영팀 참여
 - 외부 전문가 검토: 연 1회
- 보안·성능 테스트
 - 침투 테스트: 월 1회, 결과 보고서 보관
 - 부하 테스트: 분기별 최대 동시 연결 수 5000건 대상
- 인증 준비
 - Gap 분석: IEC 62443, ISO27001 준수 여부
 - 개선 계획 수립

- 인증 수행
 - 인증기관 심사: 현장 및 문서 심사
 - 샘플 환경 검증: 테스트 팩토리 적용

부 록 I-1

(본 부록은 표준을 보충하기 위한 내용으로 표준의 일부는 아님)

지식재산권 확약서 정보

아래에 기재된 지식재산권 확약서 이외에도 본 표준이 발간된 후 접수된 확약서가 있을 수 있으니, 디지털 융합 K-ESG 혁신 표준화 포럼 웹사이트에서 확인하시기 바랍니다.

해당 사항 없음.

부 록 1-2

(본 부록은 표준을 보충하기 위한 내용으로 표준의 일부는 아님)

시험인증 관련 사항

해당 사항 없음.

부 록 1-3

(본 부록은 표준을 보충하기 위한 내용으로 표준의 일부는 아님)

본 표준의 연계(family) 표준

해당 사항 없음.

부 록 I-4

(본 부록은 표준을 보충하기 위한 내용으로 표준의 일부는 아님)

참고 문헌

아래 기재된 참고 문헌의 발간일이 기재된 경우, 해당 표준(문서)의 해당 버전에 대해서만 유효하며, 연도를 표시하지 않은 경우에는 해당 표준(권고)의 최신 버전을 따른다.

해당 사항 없음.

부 록 1-5

(본 부록은 표준을 보충하기 위한 내용으로 표준의 일부는 아님)

영문표준 해설서

해당 사항 없음.

부 록 1-6

(본 부록은 표준을 보충하기 위한 내용으로 표준의 일부는 아님)

표준의 이력

판수	채택일	표준번호	내용	담당 위원회
제1판	2025.09.03.	제정 ESGTVS-1-2025-03-R1-V1.0	모빌리티 부품 공통 조립공정(용접·도장·열처리 등) 에너지 절감을 위한 멀티 에이전트 참조 모델	표준분과위원회