# AI 기반 스마트횡단보도 시스템

# 개발 제안서

TNG Traffic AI Platform | Proposal v4.0

SW 전용 / HW+SW 통합 Option 제안

2026. 09.

제안사: ㈜티엔지소프트

# 제안서 구성

| 구분 | 주요 내용 |
|---|---|
| Ⅰ. 사업 개요 및 이해 | 사업 목적, 제안범위, 특장점, Option A/B |
| Ⅱ. 시스템 아키텍처 및 HW 구성 제안 | Edge-AWS-Local Web, RK3588 SoM, Optional Hailo-8, I/O 통합보드, Legacy 호환 |
| Ⅲ. 세부 개발 방안 | Edge SW 5 개 모듈, AWS Cloud 6 개 모듈 |
| Ⅳ. 품질 보증 및 검수/시험 방안 | 3 단계 검수, KPI, 72 시간/OTA/LTE 복구 |
| Ⅴ. 프로젝트 수행 및 관리 방안 | 4 개월 일정, 조직, 역할, 특약 이행 |
| Ⅵ. 산출물 및 지원 사항 | 최종 산출물, 유지보수, 양산/장기공급 지원 |

# Ⅰ. 사업 개요 및 이해

## 1. 사업 배경 및 목적

본 사업은 우회전 교차로 및 스마트 횡단보도에서 운전자와 보행자의 사각지대로 발생할 수 있는 사고를 예방하기 위해, 도로변 Edge 장치가 CCTV 영상을 실시간 분석하고 위험상황을 판단하여 현장에서 즉시 경고하는 AI 기반 안전시스템을 구축하는 것을 목적으로 합니다.

Edge 장치는 1~4 대 카메라 영상을 분석하여 차량·보행자를 검출·추적하고 ROI 및 행동패턴을 기반으로 위험을 판단합니다. 위험 발생 시 전광판, 스피커, 경광등 등 현장 장치를 제어하며, 이벤트 스틸컷과 전후 영상을 로컬에 저장하고 AWS 원격 관제서버로 전송합니다.

## 2. 제안 범위

| 영역 | 제안 범위 |
|---|---|
| Edge AI/제어 SW | 카메라 1~4CH, AI 추론, Tracking, ROI, 위험판정, 현장장비 제어, 이벤트/미디어, Local DB |
| Local Web | ROI 설정, 카메라/AI 상태, CPU/NPU/RAM/LTE/Storage 모니터링, 로그 및 설정 |
| AWS Cloud | 이벤트 수신, DB/S3, REST API, 지도/통계 Dashboard, OTA, Device Health Monitoring |
| HW Option | RK3588 Compute Module + I/O 통합 Carrier Board, Optional Hailo-8, LTE/5G, PoE 및 현장 Interface |
| Legacy/A/S | 기존 Camera/LiDAR/I/O/출력장치와의 Adapter 기반 단계적 Retrofit |

## 3. 핵심 특장점

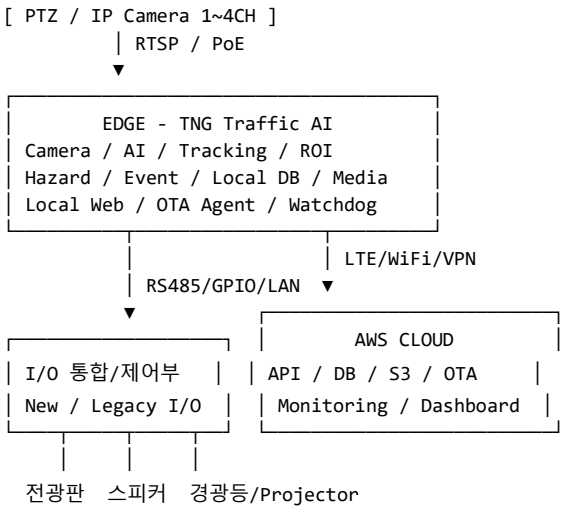
| 특장점 | 제안 내용 |
|---|---|
| 초저지연 현장 경고 | 위험 ROI 침범부터 전광판/스피커 출력까지 고객 KPI 500ms 이내를 목표로 Target HW 에서 검증 (구간별 지연시간 예산 적용, IV-2 참조) |
| 3 단계 안전망 | Watchdog 자가복구 + OTA 자동 Rollback + LTE 장애 시 Persistent Local Queueing |
| Edge 독립성 | Cloud/LTE 장애 중에도 AI 판단과 현장 경고 지속 |
| 기존 장비 A/S 호환 | Legacy Sensor/I/O Adapter 를 통해 기존 Camera·LiDAR·출력장치의 단계적 재사용 |
| 확장형 AI | RK3588 NPU 기본, Hailo-8 을 선택형 AI Accelerator 로 확장 가능 |
| 모듈형 HW | RK3588 Compute Module + 전용 Carrier 구조로 개발위험, 교체성, 확장성 및 장기 유지보수성 강화 |

## 4. 제안 방안 비교

| 구분 | Option A - SW 전용 | Option B - HW+SW 통합 |
|---|---|---|
| 적용 상황 | 발주사 또는 지정 HW 사용 | HW 부터 통합 최적화가 필요한 경우 |
| Edge SW | 동일 | 동일 |
| AWS/Local Web | 포함 | 포함 |
| HW | 발주사 제공 Target 에 Porting | RK3588 SoM + I/O Carrier + Optional Hailo 제안 |
| 장점 | HW 변경 최소화, SW 중심 빠른 착수 | HW/SW Interface 일원화, A/S·양산·확장성 강화 |
| 유의사항 | Target HW 성능/BSP/Interface 품질에 영향 | HW 개발·시제품·인증/양산 협의 필요 |
| 초기 개발 제안금액 | V-5.3 Option 별 초기 개발 제안금액 참조 | V-5.3 Option 별 초기 개발 제안금액 참조 |

# Ⅱ. 시스템 아키텍처 및 HW 구성 제안

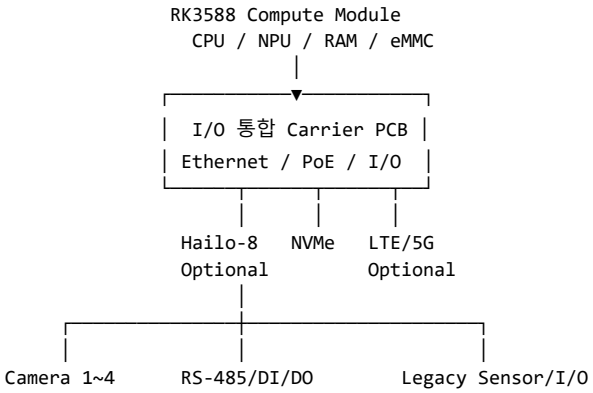
## 1. 전체 시스템 아키텍처




Local Web 은 현장 노트북/태블릿에서 Edge 에 직접 접속하여 ROI 및 시스템 상태를 설정·확인하고, AWS Cloud 는 VPN 기반 장비 연결을 통해 이벤트·상태·원격제어·OTA 를 통합 관리합니다. Cloud 장애 시에도 Edge 의 위험판단과 현장 경고는 독립적으로 유지됩니다.

## 2. Edge HW 개선 제안

발주사의 RK3588 SBC 요구는 기능적으로 충족합니다. HW 포함 Option B 는 Firefly iCore-3588Q(RK3588) 또는 iCore-3588JQ(RK3588J) 16GB/128GB SoM 을 공통 I/O 통합 Carrier Board 에 결합하는 구조를 우선 제안합니다. Q/JQ 는 동일 66×50mm 외형과 공통 BTB Connector 계열을 활용하되, 최종 양산 SoM 은 온도시험·납기·수량가격·고객 승인 결과로 확정합니다. 완제품 -20~+80°C 목표를 유지하는 기준안은 산업형 JQ(-40~+85°C 모듈 정격)이며, Q(-20~+60°C)는 모듈 주위온도 +60°C 이하 보장 시에만 조건부 대안으로 적용합니다. 단, RK3588J 는 일반 모드 CPU 최대 클럭이 A76 1.6GHz / A55 1.3GHz 로 RK3588(2.4GHz / 1.8GHz)보다 낮으므로, 전·후처리와 Tracking 성능은 JQ 샘플로 별도 실측하여 확정합니다.




### 2.1 RK3588 Compute Module 적용 장점

| 항목 | 제안 효과 |
|---|---|
| 개발 안정성 | DDR/eMMC/PMIC 등 고속·고난도 회로를 검증된 SoM 에 집중시켜 Carrier 개발 리스크 감소 |
| 개발기간 | AI/SW 개발과 Carrier Board 개발을 병렬 진행 가능 |
| 유지보수 | Compute Module, AI Accelerator, LTE, I/O 등 교환 단위를 모듈화 가능 |
| 확장성 | Hailo-8, LTE/5G, NVMe 및 Legacy Interface 를 Carrier 에서 선택 구성 |
| 장기 대응 | 동일 Carrier 기능을 유지하면서 대체 SoM 검토가 가능한 Migration 전략 수립 가능 |

모듈 결합에 따른 접촉·진동·발열·PCIe 안정성 우려는 산업용 Connector/고정구조, 방열설계, 전원·신호 Integrity 검토, 반복 삽발·배선 인장·최대부하 온도시험, Burn-in/출하검사를 통해 관리합니다. 실제 시험기준은 EVT 단계에서 확정합니다.

### 2.2 Hailo-8 지원 방안

기본형은 RK3588/RK3588J 내장 NPU(최대 6 TOPS)를 사용하고 Hailo-8 은 선택형 AI Accelerator 로 제안합니다. Hailo-8 선택형은 M.2 Key M, PCIe Gen3 x4 경로를 사용하고 NVMe 128GB 는 PCIe 2.1 x1 Combo PHY 경로, LTE 는 USB 경로로 구성하는 것을 목표로 합니다. Hailo/NVMe/LTE 동시 동작과 전원·열·BSP 는 Q/JQ 샘플을 이용한 EVT/DVT 에서

검증합니다. 4CH 각 15FPS 와 ROI 침범 후 500ms 이내 경고는 확정 모델(Ⅲ-1.1 AI 모델 책임범위 참조)·해상도·Codec 조건에서 실측하여 확정합니다.

PCIe 자원 배분: RK3588 의 PCIe 3.0 4 레인은 Hailo-8(Gen3 x4)에 할당하고, NVMe 는 PCIe 2.1 x1 Combo PHY, LTE 모뎀은 USB 로 연결합니다. Hailo 를 적용하지 않는 기본형은 PCIe 3.0 레인을 NVMe 에 할당할 수 있습니다.

NPU 성능 근거: Rockchip 공개 벤치마크(rknn_model_zoo, NPU 1 코어·INT8·640×640, 추론만)에서 RK3588 은 YOLOv8n 73.5FPS, YOLOv8s 38.0FPS 입니다. NPU 가 3 코어이므로 4CH×15FPS(합계 60FPS)는 YOLOv8n 급 모델 기준 NPU 단독으로 달성 가능성이 높으며, M1 Benchmark 에서 전·후처리를 포함해 실측 확인합니다.

| 구성 | 권장 적용 | 확정 조건 |
|---|---|---|
| RK3588 NPU | 1CH 중심, 2CH 검토 | 최종 YOLO/RKNN + 실제 RTSP Benchmark |
| RK3588 + Hailo-8 | YOLOv8s 이상 대형 모델·고해상도 4CH, 또는 NPU 실측 미달 시 | HEF 모델 + 실제 2/4CH Benchmark |

본 통합 제안에서는 장기공급성과 SW 단일화를 고려하여 RK3588 NPU 기본 + Hailo-8 Optional 을 우선안으로 제시합니다. 최종 HW 성능시험 결과에 따라 구성은 확정합니다.

### 2.3 현장 Interface 및 I/O 통합보드

| Interface | 제안 구성/용도 |
|---|---|
| Ethernet/PoE | PTZ/IP Camera 1~4 대, IP Speaker, 상위망/정비망 |
| RS-485 | 전광판 및 기존 현장 장치 연동 |
| DI/DO | 센서 입력, 경광등/제어 출력 |
| SSR | AC 부하 제어, 교체성 고려한 탈착 구조 |
| NVMe | 이벤트 이미지/영상 Local Storage |
| LTE/5G/Wi-Fi | Cloud/VPN 원격 연결 Option |
| RTC/Watchdog | 시간 유지 및 독립 HW 감시 |
| Legacy Interface | 기존 LiDAR/제어보드/출력장치 Adapter 연동 |

## 3. 신규 설치 및 기존 장비 A/S 호환 전략

| 구분 | 신규 설치 | 기존 설치/A/S |
|---|---|---|
| 차량 센싱 | Camera AI 중심, LiDAR 기본 미사용 | 기존 LiDAR 유지 가능 |

| | | |
|---|---|---|
| Camera | 기존 방향조정 또는 필요 시 추가 | 기존 Camera 우선 재사용 |
| Edge | RK3588 SoM + Carrier | RK3588 Retrofit 또는 기존 정상장비 유지 |
| AI | RK3588 NPU + Optional Hailo | 동일 SW Platform 적용 |
| I/O | New I/O | Legacy I/O Adapter 또는 New I/O |
| 전환정책 | 신규 표준 | Legacy 유지 → Retrofit → Full Upgrade |

신규 설치에서 Camera-only 차량센싱은 야간·역광·강우·강설·안개·전조등·가림 등 현장조건을 포함한 Pilot 검증 후 최종 적용합니다. 기존 LiDAR 가 차량 존재 외에 거리·속도·특정 위치 통과를 담당하는 경우 해당 기능의 Camera AI 대체 가능성을 별도 검증합니다. Pilot 은 M3 1 차 현장 가설치 기간에 야간·우천 조건 녹화영상을 포함하여 수행하고, 결과를 신규 설치 표준 확정에 반영합니다.

## 4. HW 공급 및 가격 제안의 기준

HW 파트너의 2026-09-30 업데이트 제안은 Firefly 공통 Carrier B 안을 기준으로 개발비·시제품비 및 100 대/1,000 대 공급가를 구분하여 제시합니다. B-JQ 는 -20~+80°C 완제품 목표의 기준 제안이며 B-Q 는 +60°C 모듈 정격을 전제로 한 조건부 예산안입니다. 공급가는 VAT 별도이며 현장 Camera/표시장치 본체, 설치공사, SIM 통신요금은 제외됩니다. 실제 계약가격은 SoM·LTE·SSD·Switch·SMPS 등 주요부품의 발주 시점 실조달가와 납기로 확정합니다.

| 구성 | 100 대 대당 공급가 | 1,000 대 대당 공급가 | 비고 |
|---|---|---|---|
| HW-A ODROID 기본 보드 키트 | 1,750,000 원 | 1,550,000 원 | 별도 구조 / Hailo x4 미지원 |
| HW-A ODROID 기본 함체 | 3,150,000 원 | 2,750,000 원 | 별도 구조 |
| B-Q 기본 보드 키트 (조건부) | 2,020,000 원 | 1,820,000 원 | Q -20~+60°C |
| B-Q Hailo 보드 키트 (조건부) | 2,350,000 원 | 2,130,000 원 | Q 조건부 + Hailo |
| B-Q LTE 기본 함체 (조건부) | 3,420,000 원 | 3,020,000 원 | LTE/NVMe/함체 포함 |
| B-Q Hailo 포함 함체 (조건부) | 3,750,000 원 | 3,330,000 원 | Hailo 포함 |
| B-JQ 기본 보드 키트 | 2,900,000 원 | 2,700,000 원 | 산업형 기준 제안 |
| B-JQ Hailo 보드 키트 | 3,230,000 원 | 3,010,000 원 | 산업형 + Hailo |
| B-JQ LTE 기본 함체 | 4,300,000 원 | 3,900,000 원 | 산업형 기준 완제품 |
| B-JQ Hailo 포함 함체 | 4,630,000 원 | 4,210,000 원 | 산업형 + Hailo 완제품 |

HW 공급가격 조건: 연간 최소주문수량 100 대 또는 1,000 대 확정발주와 주요부품 선금 지급을 전제로 하며, 공급가 유효기간은 HW 파트너 제안 기준 2026-10-30 까지입니다. B-Q 는 환경조건 승인 전까지 -20~+80°C 충족제품으로 제시하지 않으며, B-JQ 를 보수적 기준안으로 사용합니다.

※ 표의 HW-A/B-Q/B-JQ 는 HW 파트너 구성 구분이며, 사업범위 구분인 Option A(SW 전용)·Option B(HW+SW 통합)와 별개입니다. B-JQ 와 B-Q 의 대당 차액 근거로 SoM 단가를 포함한 주요부품 BOM 견적을 발주 전 제출합니다(참고: Firefly 공개 소매가 iCore-3588JQ 16GB/128GB $1,169).

HW 개발비는 88,000,000 원(VAT 별도)으로 확정 제안되었으며, 요구·회로·시스템 설계, PCB Artwork/고속신호, 기구·방열·하네스, EMC·인증 대응(전파법 KC 적합성평가 시험 대응 포함, 시험·인증기관 수수료 부담: [실비 별도]),

양산검사치구, 통합검증·PM·형상관리를 포함합니다. 완제품 시제품 10 대는 52,000,000 원(VAT 별도)으로 기본형 5 대 + Hailo 형 5 대를 기준으로 하며 Q/JQ 샘플 배분은 발주 전에 확정합니다. HW 개발+시제품 합계는 140,000,000 원(VAT 별도)입니다.

# Ⅲ. 세부 개발 방안 (SW 요구사항 대응)

## 1. 도로변 함체 - Edge AI SW 개발

### 1.1 AI 비전 엔진 모듈

- RTSP 1~4CH 실시간 영상 수신 및 채널별 상태관리
- RK3588 NPU(RKNN) 기본 Backend 기반 차량·보행자 AI 추론. Hailo(HEF) Backend 는 M1 Benchmark 결과 NPU 성능 미달 시 추가 적용
- 객체 ID Tracking 및 이동궤적 관리
- 다각형 ROI 침범, 방향/행동패턴 기반 위험 이벤트 생성
- 시스템 재부팅 없는 AI 모델 Hot-Swap 및 안전한 전환 구조
- 채널당 15FPS 이상 목표. 최종 모델·해상도·Codec·HW 조건을 고정한 후 검수
- AI 모델 책임범위: TNG 는 공개 사전학습 YOLO 계열 모델을 기반으로 발주사 제공 현장영상을 이용해 미세조정(Fine-tuning)하고, RKNN 변환·양자화·정확도 검증까지 수행합니다. 신규 대규모 학습데이터 구축·라벨링은 별도 범위입니다.
- 검출 성능 목표(주간·야간·우천 조건별 보행자·차량 검출률 및 오경보율)는 M1 시험환경 정의서에서 발주사와 확정하고, 현장 녹화영상 평가셋으로 검수합니다.

### 1.2 메인 통합 제어 및 HW 연동

Detection → Tracking → ROI → Direction/Behavior → Vehicle/Pedestrian Relation → Hazard State 의 단계로 위험을 판단하고, 위험상태에 따라 RS-485 전광판, IP/Analog Speaker, 경광등 및 Projector 등 현장 장치를 제어합니다.

위험판정은 AI 모델과 분리된 Rule Engine 으로 구현하여 모델 교체가 제어정책에 직접 영향을 주지 않도록 합니다. 위험상태 예시는 NORMAL → CAUTION → WARNING → DANGER 이며 실제 상태와 전이조건은 착수 단계에서 발주사와 확정합니다.

Fail-safe 정책: Edge 장애 또는 Watchdog 재시작 중에는 현장 경고장치를 사전 정의된 안전상태(예: 전광판 기본 주의문구, 경광등 점멸)로 유지하며, 상태별 동작은 착수 단계에서 발주사와 확정합니다.

### 1.3 현장 ROI 설정 Local Web GUI

- 노트북/태블릿 Web Browser 접속
- Live 영상 위 Mouse Drag 기반 Polygon ROI 생성/수정/삭제
- Camera 별 ROI/위험규칙 설정 및 즉시 적용

- CPU/NPU/RAM/Storage/LTE/Camera 상태 실시간 표시
- AI Model/Version, Event, Log 및 장비 설정 확인

### 1.4 Cloud 연동 및 LTE 장애 대응

```
Event 발생 → Local DB Commit → Persistent Upload Queue → Cloud Upload
                                                  | 실패
                                                  ↳ Retry / Backoff
Cloud ACK → Queue 완료 처리
```

LTE 단선 중에도 Edge AI 와 현장 경고는 계속 동작합니다. 이벤트와 Media 는 Local DB/Storage 에 보존하고 통신 복구 후 순차 재전송합니다. Event ID 기반 멱등 처리로 재전송 시 중복 저장을 방지합니다. Local DB 는 구현 검증을 거쳐 SQLite/RocksDB 등 적합 기술을 확정합니다.

### 1.5 Safety Watchdog & OTA Agent

OTA 는 Release 등록 → Download → Hash/Signature 검증 → Staging → 적용 → Health Check → 정상 확정 또는 이전 정상버전 Rollback 의 절차로 구성합니다. Watchdog 은 Process, Camera, NPU, Memory, Storage, LTE/Cloud, I/O 상태를 감시하여 Process Restart → Service Restart → System Restart/안전상태의 단계적 Self-Healing 을 수행합니다.

### 1.6. Edge AI 초저지연 처리 파이프라인

ROI 침범부터 경고 출력까지 500ms 이내 목표를 달성하기 위해 영상 수신·AI 추론·판정·제어를 비동기 파이프라인으로 구성하고 단계별 타임스탬프를 기록하여 병목구간을 계측한다.

```
RTSP / IP Camera
      |
      ▼
[HW Video Decode]
      |  Frame Timestamp
      ▼
[Pre-process / Resize / Color Convert]
      |
      ▼
[RK3588 NPU or Hailo-8 Inference]
      |
      ▼
[YOLO Detection → Tracking]
      |
      ▼
[Polygon ROI / Direction / Hazard Decision]
      |
      ▼
[Output Manager]
      ├── RS-485 → 전광판
      ├── GPIO/SSR → 경광등
      └── IP/Analog Audio → 경고방송
      |
      ▼
 End-to-End Latency 계측 (<500ms 목표)
```

최대 4CH 에서는 채널별 독립 수신 큐와 제한된 Ring Buffer 를 적용하여 오래된 프레임 누적을 방지하고, 가능한 구간에서 HW Decoder/NPU 친화적 메모리 경로와 Zero-copy 또는 최소 복사 방식(DMA/공유버퍼 등)을 적용한다. 추론 스케줄러는 최신 프레임 우선 처리, 채널별 공정성, Back-pressure 를 적용하여 CPU 점유율과 메모리 복사를 최소화한다. 실제 Zero-copy 적용범위는 선정 SoM/BSP, GStreamer/MPP 및 Hailo Runtime 연동시험 후 확정한다.

| 측정 구간 | 검증 항목 |
|---|---|
| T0 → T1 | RTSP 수신 및 HW Decode |
| T1 → T2 | 전처리/메모리 전달 |
| T2 → T3 | NPU 추론 및 Detection |
| T3 → T4 | Tracking/ROI/Hazard 판단 |
| T4 → T5 | RS-485/GPIO/Audio 명령 송출 |
| T0 → T5 | End-to-End 경고 Latency <500ms 목표 |

# 2. 원격지 관제 서버 - AWS Cloud SW 개발

## 2.1 이벤트 수신 및 파싱

- 24 시간 Edge Event 수신
- Device/Camera/Event ID 기반 무결성 검증
- 멀티 카메라 이벤트와 상태정보 DB 저장
- 재전송 이벤트 멱등 처리 및 ACK

## 2.2 RESTful API Backend

- 실시간/과거 이벤트 조회 API
- 현장/일/월 통계 API
- Device 상태 및 Version 관리
- 원격 수동 경고/제어 명령 Queue 와 결과 추적
- 사용자/권한 및 Audit Log

## 2.3 통합 관제 Web Dashboard

- 실시간 위험 Popup 및 경보음
- 지도 기반 Site/Edge Device 상태 표시
- 기간/현장/시간대별 통계 및 Chart
- Excel 데이터 다운로드
- Snapshot/MP4 재생
- 원격 제어 및 OTA 배포 현황

### 2.4 Media Manager / S3

이벤트 스틸컷과 전후 5 초 MP4 는 Object Storage(S3 계열)에 저장하고 DB 에는 Metadata 와 Object Key 를 관리합니다. 실시간 Camera Live View 는 S3 저장과 분리된 Streaming 경로로 설계하여 현장/네트워크 조건에 맞춰 구현방식을 확정합니다.

### 2.5 원격 배포 및 OTA 관리자

- Application / AI Model / Configuration Version 분리
- 특정 Device ID Target 배포 및 Group/전국 일괄 배포
- 배포 상태, 성공/실패, Rollback 결과 추적
- Checksum/Signature 기반 Package 검증

### 2.6 장비 Health Check 및 보안관리

VPN 기반 Heartbeat 를 통해 Edge, Camera, LTE Router, AI Runtime 및 주요 Service 상태를 주기적으로 확인하고 장애 시 Dashboard 경고를 제공합니다. 인증/권한, TLS/VPN, Device Credential 및 접근기록을 적용하며 상세 보안정책은 발주사 인프라 기준과 함께 확정합니다.

개인정보 보호: 이벤트 스틸컷·MP4 는 Edge 에서 얼굴·차량번호판을 비식별화(마스킹)한 후 전송하는 것을 기본으로 하고, 원본 보관 여부·보관기간·접근권한은 발주사 개인정보 처리방침에 따릅니다. 개인정보 보호법 제 25 조(고정형 영상정보처리기기)의 안내판 설치, 녹음기능 미사용, 안전성 확보조치, 운영 위탁 요건을 준수합니다.

공공 클라우드 요건: 최종 수요처가 공공기관인 경우 클라우드 보안인증(CSAP) 등급 요건을 확인합니다. AWS 서울 리전은 CSAP '하' 등급(개인정보를 포함하지 않는 시스템 대상)이므로, 식별 가능한 영상을 저장해야 하면 '중' 등급 이상 국내 CSP 또는 발주사 인프라로 이전할 수 있도록 Cloud 계층을 컨테이너 기반·S3 호환 API 로 설계합니다. 2027 년 시행 예정인 공공 클라우드 보안검증 체계 개편도 반영합니다.

공공기관에 신규 CCTV 카메라를 공급하는 경우 TTA 보안성능품질 인증 제품을 적용합니다.

## 2.7. LTE 장애 복구 및 AWS 부하 제어

LTE 단선 시 이벤트 메타데이터와 미디어를 Local DB/Storage 에 영속 Queue 로 저장하고, 통신 복구 후 ACK 기반으로 재전송한다. 장시간 단선 후 대량 데이터가 동시에 업로드되어 LTE 회선 및 AWS 수신부에 부하가 집중되는 것을 방지하기 위해 재전송 속도제어를 적용한다.

```
LTE Disconnect
     │
     ▼
Persistent Local Queue
(Event + Snapshot + Video)
     │
     ├── Priority : 신규 위험 Event 메타데이터 우선
     │
LTE Recovery
     │
     ▼
Rate-limited Upload Scheduler
     │
     ├── Exponential Backoff + Jitter (실패 시)
```

```
    ├─ Batch / Chunk Upload
    ├─ Device 별 전송속도 제한
    └─ ACK 확인 후 Queue 삭제
    |
    ▼
AWS Event API / S3
```

재전송은 신규 실시간 위험 이벤트의 전달을 우선 보장하고, 과거 Snapshot/Video 는 가용 대역폭 범위에서 분산 업로드한다. 서버의 429/5xx 또는 네트워크 실패 시 Exponential Backoff 와 Jitter 를 적용하여 다수 Edge 장비의 동시 재접속으로 발생하는 Thundering Herd 를 완화한다.

# IV. 품질 보증 및 검수/시험 방안

## 1. 단계별 검수 추진체계

| 단계 | 검수 내용 | 주요 산출물 |
|---|---|---|
| 1 단계 서류/코드 | 기능/화면/Interface/Architecture, Source Review | 설계문서, Source/Git, Build 자료 |
| 2 단계 Lab 기능/Stress | AI FPS, <500ms, LTE 복구, 72h, OTA Rollback | 기능시험성적서, Stress Log |
| 3 단계 현장 통합 | 도로변 가설치, Camera/HW/Cloud 종합시험 | 현장시험 결과, EVT/DVT/MVT Release |

시험단계 용어는 EVT(엔지니어링 기능검증), DVT(설계검증), MVT(양산검증)로 통일하여 사용합니다.

## 2. 주요 KPI 검증 방안

| KPI | 고객 기준 | 검증 방법 |
|---|---|---|
| AI 처리성능 | 1080p, 채널당 15FPS 이상, 최대 4CH(합계 60FPS). 검수 채널 수는 착수 시 확정 | 고정 Model/Codec/해상도에서 실제 RTSP 측정 |
| AI 검출성능 | 주간·야간·우천 조건별 보행자/차량 검출률·오경보율 (목표치 M1 확정) | 현장 녹화영상 평가셋으로 측정 |
| 현장 반응속도 | ROI 침범 → 경고 <500ms (구간별 지연시간 예산 적용) | Timestamp 기반 End-to-End 측정 |
| LTE 복구 | 10 분 단선/10 개 이벤트, 복구 후 1 분 내 전송, 유실 0 | 물리 단선 후 Queue/ACK 대조 |
| 72 시간 Stress | RAM 증가 <10%, OOM/Crash 0 | Memory/NPU/CPU/Temperature Log |
| OTA Rollback | 오류 Version 적용 시 자동 복구 | 의도적 오류 Package 배포 및 이전 Version 확인 |

| | | |
|---|---|---|
| Local Web ROI | Live 영상 Polygon 설정 | 설정 저장/즉시 적용 확인 |
| AWS 표출 | 이벤트 → Dashboard <1 초 | Edge/Server Timestamp 비교 |

시험조건(카메라 해상도/FPS/Codec, AI 모델, 동시 채널수, 네트워크 품질, Edge HW, 저장/Streaming 동시부하)은 착수 시 시험환경 정의서로 고정하여 검수 해석 차이를 방지합니다.

현장 반응속도 지연시간 예산(목표 배분, M1 Benchmark 후 조정): 일반 RTSP 재생 설정은 버퍼링으로 1~3 초 지연이 생길 수 있으므로, 수신 Pipeline 은 무버퍼 저지연 방식으로 구현하고 아래 구간별 목표로 관리합니다.

| 구간 | 목표 | 확보 방안 |
|---|---|---|
| ① 카메라 인코딩 | ≤100ms | B-frame 미사용, 짧은 GOP, 저지연 Profile |
| ② RTSP 수신·디코딩 | ≤80ms | Jitter Buffer 최소화, RK3588 HW 디코더(MPP) |
| ③ AI 추론·Tracking | ≤80ms | NPU 멀티코어, 채널별 Pipeline 병렬화 |
| ④ 위험판정(Rule Engine) | ≤20ms | 모델과 분리된 경량 Rule 처리 |
| ⑤ 장치 출력(RS-485/IP Speaker/DO) | ≤100ms | 사전 적재 문구·음원, 전광판 응답시간 사전 확인 |
| ⑥ 여유(Margin) | 120ms | 네트워크·부하 변동 대비 |
| 합계 | ≤500ms | Timestamp 기반 End-to-End 측정 |

## 3. HW 신뢰성 및 양산 검증

- 산업용 온도 목표 및 실제 함체 내부온도 기준 열설계/부하시험
- PoE/AI/Storage 동시 최대부하 전원 및 방열시험
- Connector 고정, 반복 삽발, 배선 인장 및 진동 대응 확인
- Surge/ESD/과전압/순간정전 보호 및 Watchdog 복구시험
- Burn-in 및 출하검사 기준 수립
- 산업용 SoM/SSD/SMPS 등 최종 부품 선정 후 승인 BOM 동결

HW 파트너 자료상 -20~+80°C 는 현재 전체 BOM 에서 검증 완료된 상태가 아니며, SoM/SSD/SMPS/팬 등 일부 부품의 산업용 대체 선정과 열검증이 필요합니다. 본 제안서는 이를 검증/확정 조건으로 관리합니다.

# Ⅴ. 프로젝트 수행 및 관리 방안

## 1. 수행 일정 계획 - 4 개월

| 기간 | 주요 수행내용 | Release/검수 |
|---|---|---|
| M1 | 요구사항 확정, HW 계통/Interface, AI Benchmark, 위험 Scenario, Module 1 차 개발, RKNN/Hailo Backend 결정 | Architecture/기능/화면/Interface 정의 |
| M2 | Edge/AWS/Local Web Proto, HW 연동, 1 차·2 차 기능시험, 인증지원 착수 | Proto 1/2, 기능시험성적서 |
| M3 | 1 차 현장 가설치, 통합시험, AI/위험판정 Tuning, OTA/Cloud 검증, Camera-only 차량센싱 Pilot(야간·우천 포함) | EVT/DVT SW Release |
| M4 | 2 차 현장시험, 안정화, Stress/KPI 최종검증, Source/문서 이관 | MVT Release, 최종검수 |

HW 파트너 자료의 전용 Carrier HW 개발은 최대 20 주 계획이 제시되어 있어 고객의 3~4 개월 일정과 차이가 있습니다. 따라서 Proto 는 상용 평가보드/선정 SoM 을 활용하여 SW 를 병렬 개발하고, 전용 Carrier 는 부품확보·시험·인증 범위를 협의해 EVT/DVT/MVT 일정과 정합시키는 전략을 적용합니다.

Option B 전용 HW 는 SW 검수(4 개월)와 분리된 별도 마일스톤으로 관리합니다: ① Carrier EVT 보드, ② DVT 및 시제품 10 대 납품, ③ KC 적합성평가·신뢰성시험, ④ MVT. 세부 일정은 HW 파트너 20 주 계획을 기준으로 착수 시 확정합니다.

## 2. 투입 조직 및 역할

| 조직/역할 | 주요 책임 |
|---|---|
| PM / System Architect | 요구사항, Architecture, 일정/품질/고객 Communication |
| AI Engineer | YOLO Model, Conversion, RKNN/Hailo Runtime, Benchmark/Tuning |
| Edge SW Engineer | Camera/Tracking/ROI/Hazard/Event/Local Web/OTA/Watchdog |
| Cloud Backend | Event/Device/API/DB/S3/OTA/Monitoring |
| Web Frontend | Local Web 및 AWS Dashboard |
| HW Partner | RK3588 SoM/Carrier/I/O/전원/방열/시제품/양산/A/S |
| QA/Field | Lab Stress, 현장 통합, 시험성적서/Release 검증 |

## 3. 발주사/개발사/HW 파트너 역할분담

| 구분 | 발주사 | TNG 개발사 | HW 파트너 |
|---|---|---|---|
| 요구/검수 | 위험 Scenario, 검수기준 승인 | 요구분석/Traceability/시험 | HW 시험자료 제공 |
| AI/SW | Data/현장조건 협조 | 전체 SW/AI/Cloud 개발 | BSP/HW Interface 지원 |
| HW | 기존 장비/Protocol 제공 | 통합 Architecture/연동 | Carrier/I/O/함체/양산 |
| 현장 | 설치 Site/운영 협조 | 통합시험/Debug | HW 장애/교체 지원 |

## 4. 발주사 특약사항 이행

- Git Repository 포함 납품대상 Source Code, Build Script, AI Target 변환 Pipeline 이관
- 최종 납품 SW 의 재현 가능한 결함에 대해 12 개월 무상 하자보수 지원
- 요구서에 명시된 6 개월간 지정 인력의 현장 통합시험 및 디버깅 지원을 수행하며, 구체적인 지원 횟수·지역·투입인력·출장조건은 착수 시 발주사와 협의하여 수행계획서 및 계약조건으로 확정합니다.
- 주 1 회 정기 진행현황 보고 및 Issue/Decision Log 관리

제 3 자 Library/Open Source/HW Vendor BSP 등은 해당 License 와 공급사 권리조건을 따르며, 신규 기능추가, 외부 HW/Protocol 변경, AI 재학습, 현장환경 변경 등은 하자보수와 구분하여 별도 기술지원 범위로 관리합니다.

## 5. 제안 금액

본 제안은 SW 개발비와 HW 개발·시제품 및 양산 공급가격을 분리하여 제시합니다. 모든 금액은 별도 표기가 없는 한 VAT 별도이며, HW 양산가는 실제 발주 시 주요부품 조달가·환율·납기 및 승인사양에 따라 최종 확정합니다.

### 5.1 SW 개발비

| 구분 | 내용 | 인원 | M | M/M | 단가(월) | 금액 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| PM | 통합관리 | 1 | 4.0 | 4.0 | 9,000,000 | 36,000,000 |
| 기획 | UI/UX 기획 | 1 | 2.0 | 2.0 | 7,000,000 | 14,000,000 |
| AI Edge 개발 | 프런트엔드 | 1 | 1.0 | 1.0 | 7,000,000 | 7,000,000 |
| AI Edge 개발 | 버전콘트롤 | 1 | 1.0 | 1.0 | 8,000,000 | 8,000,000 |
| AI Edge 개발 | AI 어플리케이션 | 2 | 2.0 | 4.0 | 10,000,000 | 40,000,000 |
| AI Edge 개발 | 테스트지원 | 1 | 1.0 | 1.0 | 5,000,000 | 5,000,000 |
| 원격지 관제 개발 | 프런트엔드 | 1 | 1.0 | 1.0 | 7,000,000 | 7,000,000 |
| 원격지 관제 개발 | 백엔드 | 1 | 1.0 | 1.0 | 8,000,000 | 8,000,000 |
| 원격지 관제 개발 | 테스트지원 | 1 | 1.0 | 1.0 | 5,000,000 | 5,000,000 |
| 설치지원 | AI Edge | 1 | 0.5 | 0.5 | 7,000,000 | 3,500,000 |
| 설치지원 | 관제 | 1 | 0.5 | 0.5 | 7,000,000 | 3,500,000 |

| 항목 | 금액 | 비고 |
|---|---|---|
| 직접인건비 | 137,000,000 원 | 17.0 M/M |

| | | |
|---|---|---|
| 제경비 | 19,180,000 원 | 직접인건비의 14% |
| 기술료 | - | 미적용 |
| 공급가액 | 156,100,000 원 | 10 만원 이하 절사 |
| VAT | 15,610,000 원 | 10% |
| SW 제안금액 | 171,710,000 원 | VAT 포함 |

※ SW 개발비는 현재 제시된 인력·기간 및 요구범위를 기준으로 산정하였으며, AI 학습데이터 신규 구축/대규모 라벨링, 외부 상용 라이선스, AWS 사용료, 통신료, 현장 설치공사 및 계약 범위를 초과하는 추가 기능은 별도입니다. 12 개월 무상 하자보수는 본 금액에 포함되며, AWS 사용료는 설치 규모(대수·이벤트 수·영상 보관기간)를 기준으로 착수 시 월 예상 운영비를 산출해 제시합니다.

### 5.2 HW 개발 및 시제품 제안금액

| 항목 | 금액(VAT 별도) | 주요 포함범위 |
|---|---|---|
| HW 개발비 | 88,000,000 원 | 공통 Carrier, Q/JQ 적합성, Hailo 옵션, 회로/PCB/기구/EMC/검사치구/통합검증 |
| 완제품 시제품 10 대 | 52,000,000 원 | 기본형 5 대 + Hailo 형 5 대, LTE/함체 포함, Q/JQ 배분 발주 전 확정 |
| HW 개발+시제품 합계 | 140,000,000 원 | VAT 별도 |

### 5.3 Option 별 초기 개발 제안금액

| 구분 | SW 개발 | HW 개발/시제품 | 합계(VAT 별도) | VAT 포함 |
|---|---|---|---|---|
| Option A : SW 전용 | 156,100,000 원 | - | 156,100,000 원 | 171,710,000 원 |
| Option B : HW+SW 통합 | 156,100,000 원 | 140,000,000 원 | 296,100,000 원 | 325,710,000 원 |

※ Option B 의 296,100,000 원은 SW 개발 + Firefly 공통 Carrier B 안 HW 개발 + 시제품 10 대의 초기 개발/검증비 합계입니다. 100 대/1,000 대 양산제품 구매비는 포함하지 않으며 앞 절의 HW 공급단가를 별도 적용합니다.

# VI. 산출물 및 지원 사항

## 1. 최종 제출 산출물

| 분류 | 산출물 |
|---|---|
| 요구/설계 | 기능정의서, 화면정의서, SW 구조설명서, 상세설계서, Interface 정의서 |
| Source/Build | 전체 납품대상 Source Code, Git Repository, Build/Deploy Script |
| AI | YOLO 등 AI Model, RKNN/HEF 등 Target Compile Model, 변환 Pipeline 문서 |
| 환경/운영 | Package/Library 목록, 개발환경 구축 Guide, 설치/운영/OTA Guide |

| | |
|---|---|
| 시험 | SW 기능시험성적서, KPI/Stress/현장 통합시험 결과 |
| HW Option | Block Diagram, Interface Spec, 승인 BOM/회로·PCB·생산자료의 계약상 납품범위, HW 시험자료 |

## 2. 유지보수 및 A/S 지원

| 구분 | 지원 방안 |
|---|---|
| SW 무상 하자보수 | 최종 검수 후 12 개월, 납품 SW 의 재현 가능한 결함 수정 |
| HW 무상 A/S | 납품 후 1 년을 기준으로 HW 파트너 조건과 연계 |
| 유상 유지보수 | 무상기간 종료 후 별도 유지보수 계약 또는 건별 지원 |
| 모듈 교체 | SoM / Carrier / Hailo / LTE / 전원 / SSR 등 교환단위 정의 |
| Spare 운영 | 초기 설치수량과 실제 고장률/납기를 기준으로 교환재고 협의 |
| 현장지원 | 계약된 현장시험/Debug 지원 및 이후 출장/상주 조건 별도 정의 |

## 3. 양산 및 장기공급 지원체계

HW 파트너는 승인 BOM, 최종 Q/JQ SoM 주문코드, Carrier PCB Rev 및 Linux BSP 버전을 동결하고, PCN/EOL 통지·Last Buy·대체부품 승인절차와 서비스 재고를 통해 최소 5 년 공급 및 유지보수 체계를 목표로 합니다. 초기 서비스 재고는 100 대 기준 연산보드와 I/O 보드 각 5 개, 1,000 대 기준 각 30 개를 제안하며 실제 고장률과 납기를 반영해 조정합니다. 5 년 공급 확약과 주요부품 장기계약 조건은 양산 계약 전 서면 확정합니다.

| 항목 | 제안 방안 |
|---|---|
| SKU/BOM 관리 | 승인 BOM 동결, 변경 시 영향분석 및 승인 |
| EOL/PCN | 단종 사전관리, Last Buy 및 대체품 사전검증 |
| 부품 확보 | 연간 100/1,000 대 발주계획과 주요부품 선금/장기납기 확보 연계 |
| 서비스 재고 | 보드/SoM/전원/SSR/Option 단위 교환재고 운영 |
| 생산/검사 | 제조·조립·검사 절차 및 Serial/Version 추적 |
| 대체 Platform | SoM 단종 시 Carrier 영향분석 후 대체 Module Migration |

## 4. 제안의 종합 기대효과

| 관점 | 기대효과 |
|---|---|
| 안전성 | Edge 실시간 판단과 <500ms 경고 KPI, Watchdog/Fail-Safe 로 현장 안전기능 강화 |

| | |
|---|---|
| 운영성 | LTE 장애에도 현장기능 지속, Queue 복구 및 AWS 통합관제 |
| 유지보수 | Legacy Adapter 와 모듈 교체 구조로 기존 현장 A/S 부담 완화 |
| 확장성 | 1~4CH, RK3588/Hailo, New/Legacy I/O 를 하나의 SW Platform 으로 지원 |
| 사업성 | SW Only 와 HW+SW Option 을 모두 제공하고 신규/기존 시장을 단계적으로 통합 |

**제안사는 Camera → Detection → Tracking → ROI → Hazard → Device Control 을 중심으로 한 Edge AI Core 에 Local Web, Event/Blackbox, AWS 관제, OTA/Rollback, Health Monitoring 을 결합하여 발주사의 요구를 하나의 통합 Platform 으로 구현합니다.**

**신규 설치는 Camera AI 중심으로 단순화하고, 기존 설치는 Legacy Interface 를 보존하여 단계적으로 Retrofit 함으로써 신규 구축과 기존 A/S 를 동시에 지원합니다. HW 포함 Option 에서는 RK3588 Compute Module + 확장형 I/O 통합 Carrier Board + Optional Hailo-8 구조를 통해 개발 안정성, 유지보수성 및 향후 확장성을 확보하는 것을 제안합니다.**