# 외주 사양요구서

## 칼만필터 보조 필터 구축용 고정밀 위상/관성 데이터 수집 시스템 개발

Rev. 1.8 | 2026-03

## 1. 사업명

칼만필터 보조 필터 구축용 고정밀 위상/관성 데이터 수집 시스템 개발

## 2. 개발 목적

본 과제의 목적은 칼만필터 보조 필터 구축에 필요한 기준(raw) 데이터를 확보하기 위한 전문 계측용 데이터 로거를 개발하는 것이다.

수집된 데이터는 아래 목적에 활용된다.

- S2 급 Reference IMU 와 S1 급 Target IMU 간 오차 특성 비교
- GNSS 상태 및 동적 조건에 따른 S1 오차 패턴 분석
- 속도, 가속도, 회전율, GNSS 품질, 온도, 전압 등 상태변수 기반 칼만필터 보조 필터 설계
- 향후 일반 듀얼밴드 GPS + S1 급 MEMS + 보정/보조 필터 구조 개발을 위한 학습용 데이터셋 확보

장비 개발 시 다음 항목을 최우선으로 한다.

- 정밀 시간 정합
- 기준 센서(S2) 신뢰성 확보
- GNSS raw 및 품질 정보 동시 수집
- 보조 필터 생성에 필요한 최소 상태변수 기록
- 후처리 가능한 binary raw 로그 구조 확보

아래 항목은 본 과제의 우선 개발 범위에서 제외한다.

- 센서 노화 보정 전용 장기 안정성 시험기 수준 설계
- 24 시간 이상 soak test 중심의 연구장비형 검증
- 과도한 GUI / 고급 분석 SW 개발
- 양산형 완성도 수준의 기구 마감

## 3. 개발 범위

외주 개발 범위는 아래를 포함한다.

- 하드웨어 회로 설계
- PCB 설계 및 시제품 제작

- 기본 기구물(케이스) 설계 및 제작
- MCU 펌웨어 개발
- Binary Raw Log 저장 기능 개발
- SD 카드 설정 파일 기반 동작 모드 변경 기능
- PC 용 로그 변환 툴 개발
- 기본 성능 검증 및 시험 결과 보고서 제출

> 본 과제는 측정 신뢰성과 raw 데이터 활용성을 장비 완성도보다 우선한다.

# 4. 시스템 개요

본 장비는 아래 데이터를 공통 시간축 기준으로 동기화 수집한다.

- GNSS raw measurement 데이터
- S2 급 Reference IMU raw 데이터 (ADIS16470)
- S1 급 Target IMU raw 데이터 (BNO055)
- 최소 상태 로그 (전압, 센서 근접 온도)
- 이벤트 마커 입력

모든 데이터는 저장 시점이 아닌 실제 취득 시점 기준 timestamp를 가져야 하며, 후처리 시 S1 / S2 / GNSS 간 시간 정렬이 가능해야 한다.

전원 인가 후 설정 파일을 읽어 자동으로 로깅을 시작하는 동작을 기본 모드로 한다. 수동 시작이 필요한 경우 설정 파일로 변경 가능해야 한다.

# 5. 하드웨어 요구사항

## 5.1 연산 및 저장부

| 항목 | 사양 |
|---|---|
| MCU | STM32F405 (발주자 실물 지급) |
| 저장 매체 | MicroSD 카드 (발주자 실물 지급, 32 GB, Class 10 / UHS-I U1) |
| 저장 인터페이스 | SDIO 4-bit 필수 — SPI 기반 SD 저장 방식 불허 |
| 저장 구조 | SDIO DMA + 더블 버퍼링(또는 동등 이상) 필수 적용 |

> ⚠ **SDIO 4-bit 미구현 시 불합격**

## 5.2 입력 전원

| 항목 | 사양 |
|---|---|
| 입력 전원 기본 | 5V USB-C (기본 기준, 견적 필수 포함) |

| 항목 | 사양 |
|---|---|
| 입력 전원 옵션 | 2S LiPo 배터리 대응 (옵션 항목으로 별도 견적) |
| 허용 입력 전압 | 기본: 5V ±5% / 옵션: 4.5 V ~ 8.4 V (2S LiPo 방전~만충 범위) |
| 역극성 보호 | 필수 — 역극성 인가 시 회로 손상 없을 것 |
| 과전압 보호 | 필수 — 입력 과전압에 대한 보호 회로 포함 |
| 전원 LED 표시 | 전원 인가 상태를 RGB LED로 표시 |

기본 견적은 5V USB-C 입력 기준으로 산출한다.

2S LiPo 배터리 대응은 옵션 항목으로 분리하여 별도 견적한다.

역극성 및 과전압 보호 회로는 기본·옵션 모두에 포함되어야 한다.

## 5.3 사용자 인터페이스

| 구성 요소 | 요구사항 |
|---|---|
| 이벤트 마커 버튼 | 물리 버튼 1개 이상, debounce 처리 포함 |
| 안전 종료 버튼 | 물리 버튼 1개 또는 동등 기능 |
| 상태 표시 LED | RGB LED 1개 이상 (전원 인가 / GNSS 수신 상태 / 기록 동작 / SD 오류 표시) |

## 5.4 GNSS 모듈

| 항목 | 사양 |
|---|---|
| 지정 모듈 | u-blox ZED-F9P |
| MCU 인터페이스 | UART 기반, baud rate 460800 bps 이상 (921600 bps 구현 권장) |
| RTCM 보정 입력 | F9P의 별도 UART 또는 USB를 통해 수신 가능해야 함. 최종 구성은 외주사가 제안 후 발주자 승인으로 확정 |
| 메시지 구성 | 기본 NMEA 출력 비활성화, UBX 메시지 중심으로 구성 |
| 필수 UBX 메시지 | UBX-RXM-RAWX 및 위치/속도/시간·품질 정보 확보에 필요한 UBX-NAV 계열 메시지로 구성 |
| 필수 수집 항목 | GNSS 시간 / 위치·속도 / Fix type / Num SV / DOP / Carrier solution status / RTCM 수신 상태 |

GNSS는 단순 위치 로그가 아니라, 칼만필터 보조 필터 구축을 위한 상태변수 및 기준정보 제공원으로 사용된다.

외주사는 최종 메시지별 출력 주기 및 포트 설정표를 납품물로 제출해야 한다.

설정된 baud rate에서 메시지 누락 없이 동작함을 검수 시 입증해야 한다.

## 5.5 Reference IMU (S2 급)

| 항목 | 사양 |
|---|---|
| 지정 센서 | Analog Devices ADIS16470 |
| 인터페이스 | SPI Mode 3, SCLK ≤ 2 MHz (초기화/레지스터 접근 시 ≤ 1 MHz) |
| 출력 레이트 | nominal 400 / 800 / 1000 Hz 지원. 실제 ODR은 외주사가 측정 후 보고 |
| 전원 | LT3045급 초저노이즈 LDO 또는 동등 이상으로 독립 구성 (3V3_ADIS 라인) |
| 실장 | 전용 소켓 또는 동등 이상의 응력 저감 구조 적용 |
| 응력 차단 | PCB 휨·체결 응력·외부 기계적 응력이 센서 측정부에 직접 전달되지 않도록 설계 |
| data-ready 핀 | ADIS16470 data-ready 핀 → MCU GPIO(인터럽트 캡처) 연결 필수, 회로도에 명시 |
| 로깅 | raw accel / gyro, 실제 취득 시점 timestamp 부여 |

S2 IMU는 기준축 역할을 하므로 전원 및 기구 설계에서 최우선 보호 대상이다.

## 5.6 Target IMU (S1 급)

| 항목 | 사양 |
|---|---|
| 지정 센서 | Bosch BNO055 (발주자 실물 지급) |
| 인터페이스 | SPI 모드 고정 — I2C 모드 불허 |
| 운용 모드 | fusion output 사용 금지. raw accel / gyro 데이터만 사용 |
| 구현 책임 | 구현 방식은 BNO055 데이터시트 기준으로 외주사 책임 |
| data-ready 핀 | BNO055 INT 핀(또는 동등 취득 신호) → MCU GPIO 연결 필수, 회로도에 명시 |
| 로깅 | raw accel / gyro, 실제 취득 시점 timestamp 부여 |

S1(BNO055)의 실제 출력 안정성은 외주사가 측정하여 보고하며, 400 Hz / 800 Hz 모드에서 13.2절 검수 기준을 만족해야 한다.

**⚠ BNO055 I2C 모드 또는 fusion output 사용 시 불합격**

## 5.7 센서 좌표축 정렬

S1(BNO055)과 S2(ADIS16470)의 좌표축(X-Y-Z) 방향을 물리적으로 최대한 일치시켜 실장한다.

| 요구사항 | 내용 |
|---|---|
| 축 정렬 목표 | S1·S2 X-Y-Z 방향을 기구적으로 최대한 일치시켜 실장 |
| 불일치 허용 | 불가피한 경우 기구적 오프셋 각도(roll/pitch/yaw)를 메타데이터에 포함 |
| lever_arm | 기구물 설계 확정 후 외주사가 CAD 기준으로 lever_arm_gnss_to_s2 및 lever_arm_s2_to_s1 측정·기재 |

| 요구사항 | 내용 |
|---|---|
| 산출 책임 | 축 정렬 및 lever arm 값은 기구 설계 최종본 기준으로 외주사가 산출하여 메타데이터에 반영 |

좌표축 불일치가 크면 S1/S2 오차 분석에 직접적인 영향을 준다. 불일치가 예상될 경우 사전에 발주자와 협의한다.

## 5.8 환경 및 상태 감시

| 측정 항목 | 포인트 / 채널 | 우선순위 |
|---|---|---|
| ADIS 인접 온도 | 1개 이상 | 필수 |
| BNO 인접 온도 | 1개 이상 | 필수 |
| VBAT | – | 필수 |
| 3V3_DIG | – | 필수 |
| 3V3_ADIS | – | 필수 |
| BME280 온도/습도/기압 (발주자 실물 지급) | 보조 로그 | 선택 |

센서 근접 온도 및 전원 상태 로그가 BME280 환경 센서보다 우선순위가 높다.

## 5.9 LUT 기반 실시간 보정 기능 (옵션)

본 항목은 옵션 기능으로, 발주자 요청 및 스펙 확정 이후 구현 대상이다.

| 항목 | 내용 |
|---|---|
| 기능 개요 | 발주자가 제공한 LUT 파일을 MCU가 읽어 S1 raw 데이터에 실시간 보정값을 적용 |
| LUT 파일 형식 | JSON / TXT 또는 Binary — 포맷은 데이터 수집 후 발주자가 별도 정의하여 제공 |
| 보정 연산 방식 | 가산 / 곱산 / 테이블 보간 등 — 방식은 데이터 수집 후 발주자가 별도 정의하여 제공 |
| 로그 기록 항목 | S1_raw (보정 전) / S1_corrected (보정 후) / correction_term (보정량) / lut_version (적용 LUT 버전) |
| on/off 제어 | 설정 파일의 lut_apply_enable 항목으로 기능 활성화/비활성화 |
| 구현 시점 | LUT 포맷 및 보정 연산 방식 스펙 확정 이후 발주자와 별도 협의로 진행 |

### 옵션 구현 시 검수 기준

- S1_raw / S1_corrected / correction_term / lut_version 이 동일 timestamp 기준으로 로그에 함께 기록되어야 한다
- lut_apply_enable = true 시 보정값이 적용되고, false 시 S1_raw 만 기록되는 정상 전환이 확인되어야 한다
- 적용된 lut_version 이 실제 로드된 LUT 파일과 일치함을 검수 시 확인한다

LUT 파일 포맷 및 보정 연산 방식은 이 장비로 수집한 데이터 분석 후 발주자가 정의하여 제공한다.

본 옵션 기능의 구현 스펙은 현 시점에서 확정할 수 없으며, 스펙 확정 이후 별도 협의로 진행한다.

외주사는 구현 가능 여부와 추가 비용을 견적 시 별도 항목으로 제출해야 한다.

# 6. 시간 동기화 요구사항

## 6.1 PPS 기반 기준 시간

- GNSS 모듈의 PPS 신호를 MCU 하드웨어 타이머 Input Capture 에 연결할 것
- MCU 내부 고해상도 타이머 기준으로 모든 데이터에 μs 단위 timestamp 를 부여할 것
- PPS 핀의 MCU 연결을 회로도에 명시할 것

## 6.2 Timestamp 원칙

모든 timestamp는 반드시 실제 데이터 취득 시점 기준이어야 한다.

| **아래 방식은 허용하지 않는다:** |
| --- |
| • **단순 polling loop 저장 시점 기록** |
| • **파일 쓰기 완료 시점 기록** |
| • **버퍼 flush 시점 기록** |

가능한 경우 data-ready 기반 취득을 우선 적용한다. polling 방식을 사용할 경우 실제 취득시점과 동등 수준의 시간 정합성을 입증할 수 있어야 한다.

## 6.3 타이머 오버플로우(Rollover) 처리

MCU 내부 타이머 오버플로우(Rollover) 처리 로직을 반드시 펌웨어에 반영해야 한다.

- 32-bit 타이머 기준 오버플로우 인터럽트 또는 소프트웨어 확장을 이용하여 timestamp 가 단조 증가함을 보장
- 연속된 로그 파일에서 시간 값이 역전되는 경우가 발생하지 않아야 함
- 검수 시 rollover 구간을 포함하는 로그를 제출하거나, 구현 로직을 코드 주석으로 명시하여 입증

## 6.4 타이밍 허용 오차 및 계측 근거 제출

| 항목 | 허용 오차 | 계측 근거 요구 |
| --- | --- | --- |
| PPS edge 기준 타이머 캡처 지연 | ≤ 1 μs | 오실로스코프 또는 로직애널라이저 측정 결과 제출 |
| IMU data-ready → timestamp 부여 지연 | ≤ 5 μs | 오실로스코프 또는 로직애널라이저 측정 결과 제출 |
| timestamp 역전 | 0건 | rollover 처리 구현 포함, 장시간 로그로 입 |

| 항목 | 허용 오차 | 계측 근거 요구 |
|---|---|---|
| | | 증 |
| S1 / S2 / GNSS 공통 시간축 정렬 가능 여부 | – | 검수 시 재현 및 설명 입증 필수 |

시간 동기화 정확도는 본 과제의 핵심 검수 항목이다.

'펌웨어상 그렇게 설계했다'는 주장만으로는 합격 처리하지 않는다.

오실로스코프 또는 로직애널라이저를 이용한 실측 데이터 또는 동등한 계측 근거를 반드시 제출해야 한다.

# 7. 데이터 수집 요구사항

## 7.1 IMU 수집 주기

| 모드 | 목표 레이트 | 검수 수준 |
|---|---|---|
| 주 모드 | 400 Hz | 30분 연속 로깅 — 전 채널 무결성 검수 |
| 주 모드 | 800 Hz | 30분 연속 로깅 — 전 채널 무결성 검수 |
| 확인 모드 | 1 kHz | 시스템 다운 0건, 저장 에러 0건, timestamp 역전 0건, 파일 corruption 0건을 만족하며 최소 10분 이상 연속 기록 유지 |

1 kHz는 기본 동작 확인 대상이다.

실제 ODR은 ADIS16470 내부 클록(2 kHz) 기반 분주 특성에 따라 달라지므로, 외주사는 각 모드의 실제 출력값을 측정하여 보고해야 한다.

## 7.2 필수 수집 데이터

| 분류 | 수집 항목 |
|---|---|
| IMU (S2) | raw acceleration, raw angular rate |
| IMU (S1) | raw acceleration, raw angular rate |
| GNSS | 위치 / 속도 / 시간 / UBX-RXM-RAWX / Fix type / Num SV / DOP / Carrier solution status / RTCM 상태 |
| 상태 로그 | VBAT, 3V3_DIG, 3V3_ADIS, ADIS 인접 온도, BNO 인접 온도 |
| 이벤트 로그 | 이벤트 버튼 입력 시 Event Code + μs timestamp |

## 7.3 상태 로그 주기

상태 로그는 10 ~ 100 Hz 범위에서 설정 가능해야 한다.

# 8. 이벤트 마커 요구사항

- 물리 버튼 입력 시 전용 Event Code 를 로그에 기록
- Event Code 는 μs timestamp 와 함께 저장
- debounce 처리 포함
- 이벤트 마커는 향후 실험 시 구간 라벨링 보조용으로 사용

# 9. 로그 저장 방식

## 9.1 저장 형식

로그는 반드시 Binary Raw Log (Lossless Packed Format) 방식으로 저장해야 한다.

> ⚠ **CSV 직접 저장 방식 불허**

## 9.2 Binary 포맷 요구사항

Binary Log는 최소한 아래 항목을 포함해야 한다.

| 필드 | 설명 |
|---|---|
| packet / header 구조 | 각 레코드의 경계 구분 |
| record type 구분 | 센서/소스별 식별자 |
| timestamp field | 실제 취득 시점 μs 단위, 단조 증가 보장 |
| sensor / source ID | S1, S2, GNSS 등 식별 |
| payload structure | 데이터 본체 |
| endian 정의 | 리틀엔디안 또는 빅엔디안 명시 |
| checksum / 무결성 필드 | CRC 또는 동등 무결성 보장 |
| log format version field | 포맷 버전 관리 |
| physical unit | 각 필드의 물리 단위 (예: m/s², deg/s, V, °C) |
| scaling factor | raw integer → 물리값 변환 계수 |
| signed / unsigned | 각 필드의 부호 여부 |
| valid range | 각 필드의 유효 범위 |
| [옵션] S1_corrected 필드 | LUT 보정 활성화 시: S1_raw / S1_corrected / correction_term / lut_version 추가 기록 |

후처리 파이프라인에서 raw integer를 물리값으로 변환하려면 scaling factor와 단위 정보가 필수이다.

GNSS 시간 기준(UTC / GPS week / epoch) 및 IMU 각 축의 물리 단위를 명세서에 명시해야 한다.

## 9.3 포맷 명세서 (필수 납품물)

외주사는 Binary Log 포맷 명세서를 반드시 제출해야 한다. 명세서 포함 항목:

- packet structure
- field definition 및 data type
- byte order (endian)
- checksum rule
- version field 설명
- physical unit, scaling factor, signed/unsigned, valid range
- GNSS 시간 기준 및 각 센서 물리 단위 환산 공식

> ⚠ **Binary Log 포맷 명세서 미제출 시 불합격**

## 10. 메타데이터 저장 요구사항

장비 및 세션 정보는 SD카드 내 JSON 또는 TXT 파일로 저장되어야 한다.

| 필드 | 내용 |
|---|---|
| device_serial | 장비 고유 식별자 |
| pcb_revision | PCB 버전 |
| firmware_version | 펌웨어 버전 |
| log_format_version | Binary 로그 포맷 버전 |
| imu_s1_model | BNO055 |
| imu_s2_model | ADIS16470 |
| gnss_model | ZED-F9P |
| axis_convention | 센서 좌표축 정의 (S1, S2 각각) |
| axis_offset_s1_to_s2 | S1-S2 간 기구적 오프셋 각도 [roll, pitch, yaw] (불일치 시 기재) |
| lever_arm_gnss_to_s2 | CAD 기준 외주사 측정/기재 (기구물 설계 확정 후) |
| lever_arm_s2_to_s1 | CAD 기준 외주사 측정/기재 (기구물 설계 확정 후) |
| timestamp_unit | μs |

## 11. 설정 파일 요구사항

SD카드 내 설정 파일(TXT 또는 JSON, 사용자 직접 수정 가능)을 통해 아래 항목을 변경할 수 있어야 한다.

| 항목 | 설명 |
|---|---|
| sampling_rate_hz | IMU 수집 주기 (400 / 800 / 1000) |
| enabled_channels | 활성화할 센서 채널 선택 |
| state_log_rate_hz | 상태 로그 주기 (10 ~ 100) |
| file_split_minutes | 파일 분할 주기 (분 단위) |
| device_id | 장비 식별자 |
| event_button_enable | 이벤트 마커 버튼 활성화 여부 |
| auto_log_on_power | 전원 인가 시 자동 로깅 시작 여부 (기본값: true) |

| 항목 | 설명 |
|---|---|
| lut_apply_enable | [옵션] LUT 기반 S1 보정 기능 활성화 여부 (기본값: false) |

# 12. 저장 안정성 요구사항

## 12.1 저장 구조

- DMA 기반 저장
- 더블 버퍼링 또는 동등 이상의 구조 적용
- 다중 센서 동시 로깅 시 write bottleneck 으로 인한 데이터 유실 최소화

## 12.2 안전 종료

종료 버튼 또는 동등 기능을 통해 현재 기록 파일을 안전하게 close 할 수 있어야 한다.

## 12.3 파일 분할

장시간 로그를 고려하여 설정 파일 기반 파일 분할 저장 기능을 지원한다.

# 13. 성능 검수 기준

## 13.1 연속 로깅 시험

| 모드 | 시험 시간 | 합격 기준 |
|---|---|---|
| 400 Hz | 30분 연속 | S1 raw / S2 raw / GNSS raw / GNSS 품질 / 상태 로그 / 이벤트 로그 전 채널 무결성 확인 |
| 800 Hz | 30분 연속 | S1 raw / S2 raw / GNSS raw / GNSS 품질 / 상태 로그 / 이벤트 로그 전 채널 무결성 확인 |
| 1 kHz | 10분 이상 | 시스템 다운 0건 / 저장 에러 0건 / timestamp 역전 0건 / 파일 corruption 0건 |

1 kHz 모드는 기본 동작 확인 대상으로 하며, 최소 10분 이상 연속 로깅을 수행한다.

해당 시험 동안 시스템 다운 0건, 저장 에러 0건, timestamp 역전 0건, 파일 corruption 0건을 만족해야 한다.

## 13.2 필수 무결성 기준 및 drop rate 정의

| 항목 | 기준 |
|---|---|
| drop rate 산정 기준 | 각 채널의 예상 샘플 수 대비 누락 샘플 수의 비율로 산출 (예상 샘플 수 = 설정 레이트 × 시험 시간) |

| 항목 | 기준 |
|---|---|
| drop rate 기준 | S1, S2, GNSS 각 채널별 drop rate 및 전체 로그 기준 drop rate를 각각 산출하며, 모두 0.1% 이하이어야 한다 |
| timestamp 역전 | 0건 (rollover 처리 포함) |
| 연속 누락 | 연속 3샘플 초과 누락 발생 시 불합격 |
| drop 보고 | drop 발생 시 구간 및 원인 보고 필수 |
| 파일 corruption | 0건 |
| 이벤트 로그 | 정상 기록 확인 |
| Binary → CSV 변환 | 정상 동작 확인 |

## 13.3 전원 노이즈 측정 (3V3_ADIS 라인)

외주사는 오실로스코프를 이용하여 3V3_ADIS(ADIS16470 전원) 라인의 전원 노이즈(PARD) 측정 결과를 제출해야 한다.

| 제출 항목 | 내용 |
|---|---|
| 측정 채널 | 3V3_ADIS 라인 |
| 측정 조건 | IMU 정상 동작 중 (400 Hz 로깅 상태) |
| 측정 대역 | 10 Hz ~ 100 kHz |
| 측정 항목 | RMS noise 및 peak-to-peak ripple |
| 권장 목표 | RMS noise ≤ 10 μV RMS, peak-to-peak ripple ≤ 100 μVpp |
| 파형 저장 | 오실로스코프 캡처 화면 제출 |

ADIS16470은 전원 노이즈에 민감하다. LT3045급 LDO 적용의 실효성을 측정 결과로 입증해야 한다.

3V3_ADIS 전원 노이즈는 권장 목표(RMS ≤ 10 μV, p-p ≤ 100 μVpp)를 기준으로 평가하며,

이를 유의하게 초과할 경우 발주자는 설계 개선 및 재측정을 요구할 수 있다.

## 13.4 샘플링 품질 제출 항목

외주사는 아래 자료를 제출해야 한다.

- 400 Hz / 800 Hz 모드의 실제 평균 샘플링 레이트
- 샘플 간 시간 간격 통계 또는 요약표
- S1, S2, GNSS 각 채널별 drop 건수 및 구간/원인 분석
- 1 kHz 모드 10 분 연속 기록 유지 확인 결과

## 13.5 PPS 동기화 확인

외주사는 PPS 기반 시간 동기화 동작 결과를 제출해야 한다.

- PPS capture 동작 여부
- PPS edge 기준 캡처 지연 실측값 (오실로스코프 또는 로직애널라이저 결과)
- IMU data-ready → timestamp 부여 지연 실측값

- S1 / S2 / GNSS 공통 시간축 정렬 가능 여부 설명

> 연구장비형 상세 통계 전체를 요구하지는 않으나, 보조 필터 설계용 정렬이 가능함을 확인할 수 있어야 한다.

### 13.6 GNSS 메시지 설정 검증

외주사는 아래 항목을 검수 자료로 제출해야 한다.

- 포트/메시지 설정표 (UBX 메시지별 출력 주기 포함)
- 설정된 baud rate 에서 UBX-RXM-RAWX 및 필수 품질 메시지 누락 없이 동작함을 확인한 결과

## 14. PC 용 변환 툴 요구사항

외주사는 Binary Log를 분석용 파일로 변환하는 PC용 소프트웨어 또는 스크립트를 납품해야 한다.

| 구분 | 내용 |
|---|---|
| 필수 기능 | Binary → CSV 변환 |
| 필수 기능 | timestamp 유지 (μs 단위, 단조 증가 확인 가능) |
| 필수 기능 | record type별 분리 출력 가능 |
| 필수 기능 | 메타데이터 추출 가능 |
| 필수 기능 | physical unit / scaling factor 적용 옵션 (raw integer → 물리값 변환) |
| 제외 항목 | 전용 GUI, 고급 시각화 기능, MATLAB 전용 고급 기능 |

> **⚠ CSV 변환 툴 미제공 시 불합격**

## 15. 기구물 요구사항

납품물에는 기본 케이스를 포함한다. 케이스는 아래를 만족해야 한다.

- SD 카드 접근 가능
- GNSS 안테나 연결 가능
- 이벤트 버튼 조작 가능
- 종료 기능 조작 가능
- LED 식별 가능
- 전원 입력 커넥터 접근 가능

> 고급 외관 마감보다 기능성 및 센서 응력 저감을 우선한다.

## 16. 납품 결과물

| 분류 | 납품 항목 |
|---|---|
| 시제품 | 데이터 로거 시제품 1식 (PCB 포함, 센서 실장, 기본 케이스 포함) |
| 회로 설계 자료 | 회로도 / BOM / Gerber / PCB source file |
| 펌웨어 자료 | 전체 소스코드 / 빌드 환경 정보 / 빌드·플래싱 가이드 |
| 로그 포맷 자료 | Binary Log 포맷 명세서 (unit, scaling factor 포함) |
| PC 변환 툴 | 실행 파일 또는 소스코드 + 사용 설명 |
| GNSS 설정 자료 | 포트/메시지 설정표 (UBX 메시지별 출력 주기 포함) |
| 검증 자료 | 400/800 Hz 연속 로깅 결과 / 1 kHz 연속 기록 확인 / 샘플링 품질 요약 / PPS 동기화 실측 / 3V3_ADIS 전원 노이즈 측정 |

## 17. 발주자 제공 부품

| 부품 | 수량 | 비고 |
|---|---|---|
| STM32F405 MCU | 1 | 실물 지급 |
| Bosch BNO055 | 1 | 실물 지급 |
| Bosch BME280 | 1 | 실물 지급 |
| MicroSD 카드 | 1 | 실물 지급, 32 GB |

위 부품은 발주자가 실물로 지급하므로 견적 및 BOM에서 반드시 제외한다.

외주사 BOM 제출 시 발주자 제공 부품과 외주사 조달 부품을 명시적으로 구분하여 기재할 것.

## 18. 검수 방식

검수는 발주자 입회 하에 아래 항목을 재현 가능해야 한다.

| 순서 | 검수 항목 |
|---|---|
| 1 | 전원 인가 후 자동 로깅 시작 확인 |
| 2 | 설정 파일 변경 후 샘플링 모드 변경 확인 |
| 3 | 이벤트 버튼 입력 반영 확인 |
| 4 | 안전 종료 수행 및 파일 정상 close 확인 |
| 5 | Binary 로그 생성 확인 |
| 6 | CSV 변환 및 timestamp 단조 증가 확인 |
| 7 | 400 Hz / 800 Hz 30분 연속 로깅 — 각 채널별 및 전체 로그 기준 drop rate 0.1% 이하 확인 |
| 8 | 1 kHz 10분 연속 기록 유지 확인 — 시스템 다운 0건, 저장 에러 0건, timestamp 역전 0건, file corruption 0건 확인 |
| 9 | 3V3_ADIS 전원 노이즈(PARD) 측정 결과 확인 |
| 10 | PPS 캡처 지연 및 IMU data-ready→timestamp 지연 실측 결과 확인 |

| 순서 | 검수 항목 |
|---|---|
| 11 | GNSS 포트/메시지 설정표 및 메시지 누락 없음 확인 |

검수의 핵심 판단 기준:

- S1 / S2 / GNSS 를 공통 시간축으로 정렬 가능한가
- 칼만필터 보조 필터 생성을 위한 raw 데이터가 실제로 확보 가능한가
- 상태 로그를 통해 최소한의 원인 변수 분리가 가능한가
- 후처리 파이프라인에 넣을 수 있는 형태로 로그를 추출 가능한가

## 19. 중요 불합격 조건

아래 항목 중 하나라도 미충족 시 검수 불합격으로 간주한다.

| |
|---|
| **1. SDIO 4-bit 미구현** |
| **2. 실제 취득 시점 기준 timestamp 미구현** |
| **3. UBX-RXM-RAWX 미수집** |
| **4. S1 raw / S2 raw 동시 수집 불가** |
| **5. Binary Log 포맷 명세서 미제출 (unit / scaling factor 포함)** |
| **6. CSV 변환 툴 미제공** |
| **7. 400 Hz / 800 Hz 모드에서 S1, S2, GNSS 각 채널별 또는 전체 로그 기준 drop rate가 0.1%를 초과하는 경우** |
| **8. 연속 3샘플 초과 누락 발생** |
| **9. 파일 corruption 발생** |
| **10. S1 / S2 / GNSS 공통 시간축 정렬 불가** |
| **11. BNO055 I2C 모드 또는 fusion output 운용** |
| **12. timestamp 역전 발생 (rollover 처리 누락 포함)** |
| **13. 1 kHz 모드에서 10분 내 시스템 다운, 저장 에러, timestamp 역전 또는 file corruption이 발생한 경우** |
| **14. PPS / data-ready 지연 계측 근거 미제출** |
| **15. GNSS 포트/메시지 설정표 미제출** |

## 20. 견적 요청 시 유의사항

본 장비는 칼만필터 보조 필터 구축용 raw 데이터 확보 장비입니다.

최종 상용기 수준의 고급화보다는, S1/S2/GNSS 동기 raw 데이터와 최소 상태변수 로그를 신뢰성 있게 확보하는 것이 핵심입니다.

견적 제출 시 아래 항목을 구분하여 제출해 주시기 바랍니다.

| 견적 구분 항목 | 내용 |
|---|---|
| 필수 구현 범위 | 본 사양요구서 전 항목 |
| 제외 가능 항목 | BME280 연동, 1 kHz 모드 이상의 추가 검증 |
| 400 / 800 Hz 검수 포함 | 30분 연속 로깅 시험 포함/제외 구분 |
| 1 kHz 동작 확인 범위 | 10분 연속 기록 유지 확인 포함 여부 |
| 케이스 포함 여부 | 3D 프린팅 기능성 케이스 기준 |
| PCB 수정 1회 포함 여부 | 단순 패턴 오류 수정에 한함 |
| 발주자 제공 부품 제외 | BOM에서 명시적 분리 (실물 지급 부품 목록 참조) |
| [옵션] LUT 실시간 보정 | 구현 가능 여부 및 추가 비용 별도 견적. LUT 포맷·보정 방식은 스펙 확정 후 협의 |

사양 해석상 모호함이 있을 경우, 발주자의 보조 필터 생성 목적에 유리한 방향으로 해석한다.