

The Blue Book of GNX Earsling

작동·운영 원리 공식 설명서 · 매뉴얼 · 참고서

GNX Earsling 공식 전문 정리 문서 | Version 1.0 | 2026-05-24

문서 성격	제품/운영/SDK/API 담당자 대상 청서
작성 기준	사용자 첨부 명세서, 도면, 선행기술·진보성 조사보고서의 통합 분석
권고 독자	경영진, 보안전문가, 라이선스 검토자, 제품/SDK/API 책임자
중요 고지	의료 진단·치료 판정서가 아니며, 기술·검증·운영 체계 설명서입니다.

목차

표지

목차

제 1 장 시스템 개요와 운용 원칙

1.1 GNX Earsling 의 역할

1.2 운용 원칙 6 가지

1.3 안전 고지와 책임 경계

제 2 장 물리 구조, 센서, 착용 접점

2.1 템플팁 결합 구조

2.2 센서 배치와 접촉 맵

2.3 전원·통신·보안 저장부

제 3 장 장치 동작 이벤트 취득

3.1 이벤트 출처 어댑터

3.2 이벤트 특징 벡터

3.3 이벤트 신뢰도와 계층 가중치

제 4 장 외란 상태값 산출과 상태 전이

4.1 외란 벡터

4.2 누적·감쇄 연산

4.3 히스테리시스와 차단 유지시간

제 5 장 프레임 관리자와 후보 출력

5.1 공통 시간 기준

5.2 체온·리듬·혈역학 후보

5.3 개인 기준선 관리

제 6 장 출력 전 제어와 비값 응답

6.1 출력 결정 엔진

6.2 수치 억제 경로

6.3 API/SDK/BLE 응답 예시

제 7 장 햅틱, 사용자 피드백, 안전 차단

7.1 햅틱 아티팩트 윈도우

7.2 피드백 실행 적격성 게이트

7.3 앱 안내와 재측정 흐름

제 8 장 운영 절차, QA, 장애 대응

8.1 초기 설치와 기준선 생성

8.2 정기 점검과 정책 업데이트

8.3 장애·오류 대응

부록 B. 운용 체크리스트와 권장 스키마

제 1 장 시스템 개요와 운용 원칙

1.1 GNX Earsling 의 역할

GNX Earsling 은 일반 안경 또는 스마트글래스의 템플팁 영역에 결합되는 귀접촉 장치와, 그 장치에서 취득되는 생체 관련 후보 신호를 상위 앱·SDK·BLE·서버 API로 제공하기 전에 검증하는 출력 전 제어 체계다. 사용자는 장치를 귀 뒤 또는 귀 주변 피부와 접촉되도록 착용하고, 장치는 ECG, PPG, 피부접촉 온도, 주변온도, 접촉압, 접촉 임피던스, 움직임, 좌우 동기화 등에서 후보 신호를 얻을 수 있다. 그러나 시스템의 주목적은 후보 신호를 무조건 표시하는 것이 아니라, 표시 가능성과 신뢰도를 결정하는 것이다.

운영자는 GNX Earsling 을 센서 집합, 이벤트 집합, 정책 집합, 출력 결정 집합으로 이해해야 한다. 센서 집합은 물리적 측정 입력을 제공한다. 이벤트 집합은 햅틱, BLE, LED, ADC, 배터리, 충전, CPU 부하, 앱/API 요청 같은 장치 동작 상태를 제공한다. 정책 집합은 어떤 이벤트가 어떤 외란 상태로 전환되는지, 어떤 상태에서 실제값을 차단하는지 정의한다. 출력 결정 집합은 실제값 출력, 제한 출력, Warning, 재측정 요청, 원시값 접근 차단, 비값 응답을 실행한다.

1.2 운용 원칙 6가지

첫째, 생체 후보값은 확정 진단값이 아니다. 둘째, 장치 동작 이벤트는 생체값과 별도의 독립 입력으로 취급한다. 셋째, 출력 요청이 발생하면 실제값 제공 전에 정책에 따라 결정한다. 넷째, 부적격 상태에서는 생체값으로 해석 가능한 수치를 반환하지 않는다. 다섯째, 모든 결정은 Evidence Packet 또는 구조화 로그로 남겨 재현 가능해야 한다. 여섯째, 정책 패키지와 알고리즘 버전은 출력 결과의 일부로 관리해야 한다.

이 6 가지 원칙은 개발, 시험, 운영, 고객지원, 보안감사 모두에 적용된다. 예를 들어 사용자가 앱에서 값을 요청했을 때 피부 접촉이 불안정하고 햅틱 후행 윈도우가 아직 끝나지 않았다면, 앱은 “정확한 측정을 위해 잠시 후 다시 측정하십시오”와 같은 안내를 표시할 수 있다. 그러나 SDK 또는 서버 API는 내부 후보 수치를 함께 반환해서는 안 된다. 사용자는 안내를 보지만, 외부 서비스는 raw_value 를 생체값으로 재사용할 수 없어야 한다.

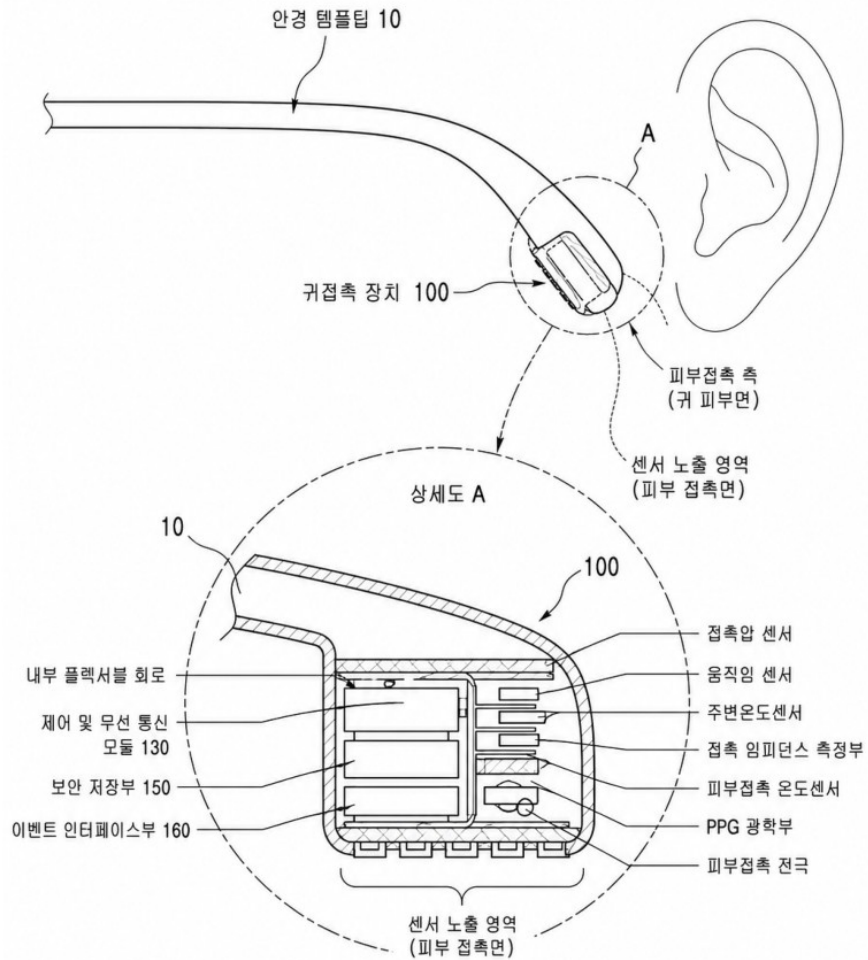
1.3 안전 고지와 책임 경계

운영 매뉴얼상 모든 화면, API 문서, SDK 문서, BLE 프로파일, 서버 응답 문서는 비의료·비진단 경계를 명확히 해야 한다. 체온 관련 후보는 피부접촉 온도와 주변온도, 착용 지속시간, 장치 발열 외란을 고려한 출력 가능성 판단이며, 심부 체온을 확정하는 기능으로 표시하지 않는다. 리듬 관련 후보는 ECG/PPG 품질과 움직임 안정성을 고려한 후보 출력 가능성 판단이며, 질환을 확정하는 기능으로 표시하지 않는다. 혈액학 관련 후보는 개인 기준선과 비교 가능한 변화 패턴을 다루며, 혈압 수치를 독립적으로 확정 출력하는 기능으로 표시하지 않는다.

운영 책임자는 고객지원 문구와 UI 문구에도 동일한 원칙을 반영해야 한다. “측정값 없음”, “재측정 요청”, “기준선 만료”, “접촉 상태 확인”, “장치 안정화 대기”는 모두 비값 응답의 사용자 표현일 수 있다. 반대로 “정상 혈압”, “부정맥 확정”, “체온 확정”처럼 의료적 확정성을 암시하는 표현은 피해야 한다.

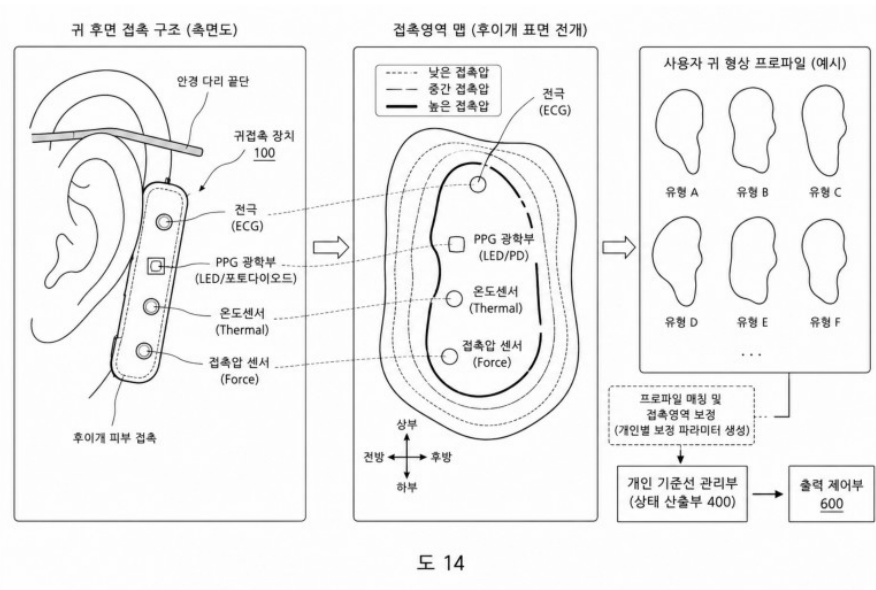
제 1 장은 GNX Earsling 을 후보값 표시 장치가 아니라 출력 가능성 제어 시스템으로 규정한다. 운영자는 생체값, 장치 이벤트, 정책, Evidence Packet 을 한 체계로 다루어야 하며, 모든 출력은 비의료·비진단 경계를 지켜야 한다.

제 2 장 물리 구조, 센서, 착용 접점



도 2

도면 2 참조 - 슬리브형 귀접촉 장치의 단면 및 센서 배치



도 14

도면 14 참조 - 귀 뒤 접촉영역 맵핑과 사용자 귀 형상 프로파일

2.1 템플팁 결합 구조

장치는 슬리브형, 포켓형, 튜브형, 캡형, 모듈형 또는 일체형 구조를 가질 수 있다. 슬리브형은 일반 안경 템플팁의 외주를 감싸며, 모듈형은 템플팁 내부 또는 스마트글래스 암 내부에 배치된다. 운용자는 장치가 귀 뒤 접촉 영역에 안정적으로 위치하는지, 템플팁 곡률과 사용자 귀 형상이 과도한 압박 또는 접촉 불량을 유발하지 않는지 확인해야 한다. 평균 두께, 탄성, 방수, 센서 노출부, 케이블 또는 무선 통신 위치는 착용감과 측정 품질에 영향을 준다.

설치 시 가장 중요한 점은 센서가 피부와 접촉 또는 근접하는 면을 정확히 식별하는 것이다. ECG 전극은 전극 접촉 품질과 임피던스가 중요하고, PPG 광학부는 피부 밀착과 외광 차단이 중요하며, 피부접촉 온도센서는 주변온도센서와 분리되어야 한다. 접촉압 센서는 과도한 압박과 접촉 불량을 구별하는 데 사용되고, 움직임 센서는 머리 움직임과 햅틱 진동의 영향을 구분하는 데 사용된다.

2.2 센서 배치와 접촉 맵

귀 뒤 접촉 영역 맵은 사용자의 귀 형상, 템플팁 곡률, 장치의 상하·전후 위치, 피부 접촉압 분포를 반영해야 한다. 도면의 접촉영역 맵핑 구조는 전극, PPG 광학부, 온도센서, 접촉압 센서가 접촉품질 맵과 사용자 형상 프로파일에 따라 해석될 수 있음을 보여준다. 초기 착용 과정에서는 낮은 접촉, 중간 접촉, 높은 접촉의 영역을 구분하고, 안정적인 피부 접점이 확보되는 위치를 기준으로 개인 기준선 생성을 시작해야 한다.

센서 배치 검증에서는 신호 강도만 보아서는 안 된다. 피부 접촉이 좋더라도 햅틱 모듈이 가까운 위치에서 진동을 유발하면 ECG/PPG/접촉압 센서에 아티팩트가 생길 수 있다. 또한 무선 송수신과 LED 구동, ADC 샘플링, 충전 상태 변화가 국소 발열을 만들어 피부온도 후보에 영향을 줄 수 있다. 따라서 센서 배치 검증은 물리 접촉, 열 분리, 전기적 간섭, 진동 전달 경로 제한을 함께 확인해야 한다.

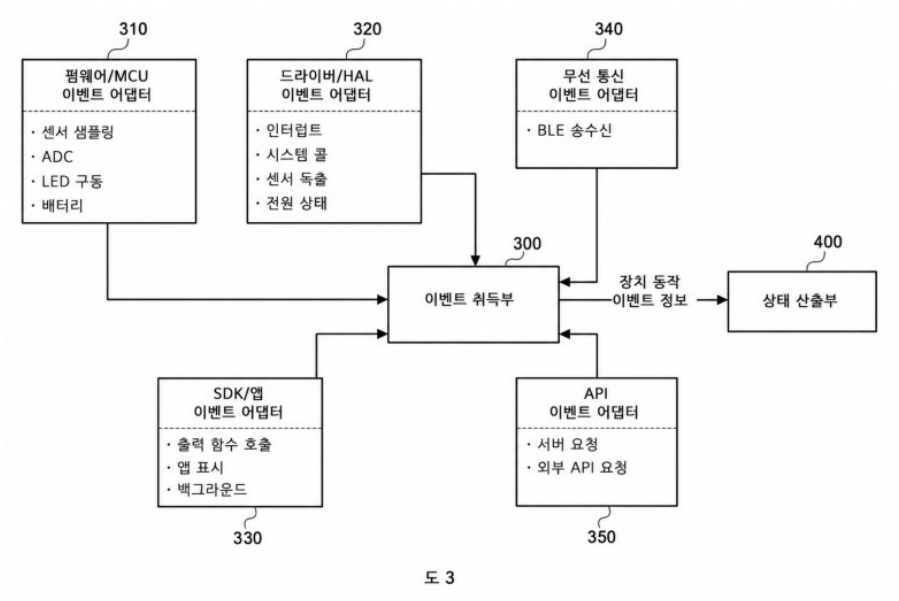
2.3 전원·통신·보안 저장부

전원관리부는 배터리 상태, 충전 상태, 전류 변화, 저전압 상태, 전원 모드 전환 이벤트를 이벤트 취득부에 전달해야 한다. 통신부는 BLE 송수신, 연결 상태, 패킷 손실, 재전송, 광고 모드, API 요청 부하를 이벤트로 기록해야 한다. 보안 저장부는 정책 패키지, 장치 프로파일, 알고리즘 버전, 키 또는 무결성 검증 자료, 기준선 식별자를 보호한다.

운영 환경에서는 보안 저장부의 무결성이 특히 중요하다. 정책 패키지가 변조되면 외란 임계값이 임의로 완화되어 부적격 값이 정상 출력될 수 있다. 장치 프로파일이 잘못 적용되면 센서 배치와 두께, 햅틱 분리 구조가 다른 제품에 동일 정책이 적용될 수 있다. 따라서 정책 패키지와 장치 프로파일은 배포 전 서명 또는 해시 검증을 거치고, 적용 후 Evidence Packet에 식별자와 버전이 남아야 한다.

제 2 장은 물리 구조를 운용 관점에서 설명하였다. 안정 착용, 센서 접촉, 햅틱 분리, 열·전기·진동 간섭 관리, 전원·통신·보안 저장부 이벤트화가 정상 운용의 기초다.

제 3 장 장치 동작 이벤트 취득



도면 3 참조 - 펌웨어/MCU/HAL/SDK/API 이벤트 출처 어댑터

3.1 이벤트 출처 어댑터

이벤트 취득부는 생체 신호의 측정값과 별도로 장치 동작 이벤트를 수집한다. 출처는 펌웨어, MCU, 커널 드라이버, HAL, SDK, BLE 또는 기타 무선 통신 계층, 앱 실행 계층, 전원관리 계층, 배터리·충전 계층, 센서 샘플링 계층, 햅틱 구동 계층, 프로세서·메

모리 부하 계층, 서버 API, 클라우드 처리 계층까지 확장될 수 있다. 특정 운영체제나 특정 HAL 명칭에 종속되지 않도록 어댑터 방식으로 구현하는 것이 바람직하다.

어댑터는 이벤트를 원본 로그 그대로 전달하는 역할이 아니라, 출력 제어에 필요한 최소 특징으로 정규화하는 역할을 한다. 예를 들어 BLE 송신 이벤트는 단순 문자열 로그가 아니라 발생 시각, 지속시간, 빈도, 패킷 크기 또는 부하 수준, 이벤트 출처, 신뢰도, 장치 식별자, 정책 식별자로 변환되어야 한다. 햅틱 이벤트는 패턴 식별자, 시작 시각, 종료 시각, 구동 강도, 모터 전류 상태, 선행·활성·후행 윈도우 정보를 제공해야 한다.

3.2 이벤트 특징 벡터

이벤트 특징 벡터는 event_type, timestamp, duration, frequency, intensity, load_weight, source_layer, device_id, policy_id, confidence 를 기본 필드로 삼을 수 있다. event_type 은 haptic_drive, ble_tx, ble_rx, led_drive, adc_sampling, battery_change, charging, cpu_load, api_request, background_task 와 같이 정의된다. timestamp 는 공통 시간 기준으로 정합되어야 하고, duration 은 이벤트가 영향을 줄 수 있는 시간을 나타낸다. frequency 는 반복 이벤트 또는 버스트 이벤트를 설명한다.

intensity 와 load_weight 는 이벤트가 외란 상태값에 미치는 상대적 영향을 표현한다. source_layer 는 펌웨어, MCU, HAL, SDK, 앱, 서버 등 이벤트의 출처를 나타내며, confidence 는 해당 이벤트가 실제 장치 상태를 얼마나 신뢰성 있게 설명하는지 나타낸다. 운영자는 이벤트 특징 벡터가 누락되거나 단위가 혼재되지 않도록 스키마 검증을 적용해야 한다.

필드	설명	운용 주의
event_type	햅틱, BLE, LED, ADC, 배터리, API 요청 등	표준 코드 목록으로 관리
timestamp	공통 시간 기준의 발생 시각	장치·모바일·서버 시간 보정 필요
duration/frequency	영향 지속시간 및 반복 빈도	버스트 이벤트 누락 방지
confidence/source_layer	출처와 신뢰도	신뢰도 낮을 때 보수적 정책 적용

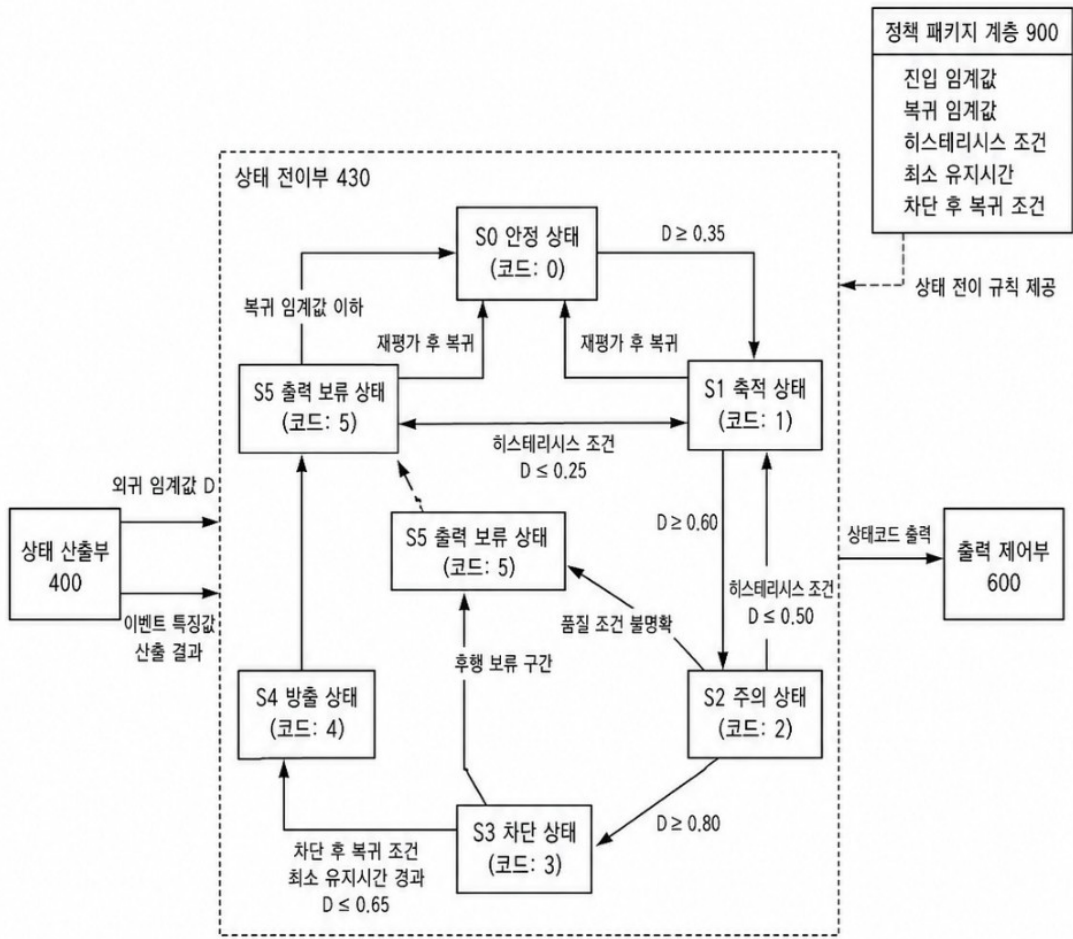
3.3 이벤트 신뢰도와 계층 가중치

모든 이벤트가 동일한 신뢰도를 갖는 것은 아니다. 장치 내부 MCU 이벤트는 시간 정밀도와 신뢰도가 높을 수 있으나, 앱 실행 이벤트는 OS 스케줄링 지연이나 백그라운드 제한의 영향을 받을 수 있다. 서버 API 이벤트는 출력 요청 흐름을 설명하는 데 중요하지만, 장치 내부 열·진동 상태를 직접 나타내지는 않는다. 따라서 상태 산출부는 이벤트 출처별 계층 가중치와 신뢰도를 사용하여 외란 상태값을 산출한다.

운영자는 신뢰도가 낮은 이벤트를 무시하기보다 보수적으로 처리하는 정책을 선택할 수 있다. 예를 들어 햅틱 구동 종료 이벤트가 누락된 경우 활성 윈도우를 즉시 종료하지 않고 최대 보수 기간을 적용할 수 있다. BLE 부하 정보가 불안정한 경우 통신 외란 성분을 Warning 또는 출력 보류로 전환할 수 있다. 이러한 보수적 처리 규칙은 정책 패키지에 명시되어야 하며, Evidence Packet 에 사유 코드로 기록되어야 한다.

제 3 장은 장치 동작 이벤트 취득을 설명하였다. 이벤트는 생체값과 독립된 입력이며, 어댑터를 통해 특징 벡터로 정규화되고, 출처별 신뢰도와 계층 가중치를 거쳐 외란 상태 산출에 사용된다.

제 4 장 외란 상태값 산출과 상태 전이



상태코드	상태명	의미	진입 조건 예시	복귀 조건 예시	출력 제어 영향
0	안정 상태	외란 영향이 낮은 상태	초기 또는 $D < 0.35$	해당 없음	기본 출력 허용 가능
1	축적 상태	외란이 누적되는 상태	$D \geq 0.35$	$D \leq 0.25$	관찰 및 축적
2	주의 상태	외란 영향이 유의한 상태	$D \geq 0.60$	$D \leq 0.50$	제한 출력 또는 Warning 가능
3	차단 상태	축적 신뢰 저하로 출력 제한	$D \geq 0.80$ 또는 차단 조건 충족	$D \leq 0.65$ 및 최소 유지시간 경과	원시값 접근 차단 또는 비값 응답
4	방출 상태	차단 해제 직후의 이행 상태	차단 해제 후	복귀 조건 충족	점진적 복구
5	출력 보류 상태	후행 안정화 또는 품질 재평가 상태	후행 보류 구간 또는 품질 조건 불명확	재평가 후 복구	실제값 출력 보류

표기
D: 외란 상태값
진입 임계값 > 복구 임계값
히스테리시스: 반복 전환 억제
최소 유지시간: 차단 상태 유지
예시값은 정책 패키지에 의해 변경 가능

도 7

도면 7 참조 - 외란 상태값 상태전이 및 히스테리시스 구조

4.1 외란 벡터

외란 상태값은 하나의 스칼라로만 운영할 수도 있으나, 엔터프라이즈 구현에서는 다차원 외란 벡터를 권장한다. 벡터 성분은 thermal_disturbance, vibration_disturbance, contact_disturbance, optical_disturbance, electrode_disturbance,

communication_disturbance, power_disturbance, sampling_disturbance, compute_disturbance 로 구성할 수 있다. 각 성분은 0 에서 1 사이의 정규화 값, 상태코드, 플래그 또는 비트필드로 표현될 수 있다.

다차원 벡터는 원인별 조치를 가능하게 한다. thermal 성분이 높으면 장치 안정화 대기 또는 피부온도 후보 제한이 필요하고, vibration 성분이 높으면 햅틱 윈도우 종료 후 재측정이 필요하다. contact 성분이 높으면 착용 위치 조정이 필요하며, communication 또는 compute 성분이 높으면 API 요청 조절 또는 백그라운드 부하 완화가 필요하다. 단일 점수만 있으면 이러한 조치 구분이 어렵다.

4.2 누적·감쇄 연산

외란 상태값은 이벤트 특징 벡터의 누적과 시간 감쇄에 의해 갱신된다. 대표적인 구현은

$D(k)=\text{clip}(\text{beta}*D(k-1)+\text{sum}(\text{alpha}_i*w_i*t_i*f_i*c_i),0,D_{\text{max}})$ 와 같은 형태를 사용할 수 있다. 여기서 beta 는 시간 감쇄 계수, alpha_i 는 이벤트 유형별 외란 전환 계수, w_i 는 부하 가중치, t_i 는 지속시간, f_i 는 발생 빈도, c_i 는 신뢰도 또는 계층 가중치, Dmax 는 상한값이다. 실제 구현은 테이블, 규칙, 상태기계, 학습 모델로 대체될 수 있다.

운영자는 수식 자체보다 입력 단위와 정책 버전의 일관성을 관리해야 한다. 햅틱 강도 단위, BLE 부하 단위, CPU 부하 단위가 버전별로 달라지면 외란 상태값의 의미가 흔들린다. 따라서 정책 패키지에는 각 이벤트 유형의 단위, 정규화 방식, 상한, 결측 처리, 신뢰도 계산 방법, 적용 대상 장치 프로파일이 포함되어야 한다.

4.3 히스테리시스와 차단 유지시간

상태 전이는 안정 상태, 축적 상태, 방출 상태, 주의 상태, 차단 상태, 출력 보류 상태로 구성될 수 있다. 외란 상태값이 주의 진입 임계값을 넘으면 주의 상태로 전환하고, 차단 진입 임계값을 넘으면 차단 상태로 전환한다. 복귀는 진입 임계값보다 낮은 복귀 임계값 이하로 일정 시간 유지될 때만 허용한다. 이것이 히스테리시스다.

히스테리시스와 최소 유지시간은 임계값 근처에서 상태가 반복적으로 흔들리는 것을 방지한다. 예를 들어 햅틱 종료 직후 vibration 성분이 빠르게 줄어도 접촉 회복 또는 전류 안정화가 끝나지 않았을 수 있으므로 후행 윈도우와 차단 유지시간이 필요하다. 운영자는 “값이 순간적으로 정상처럼 보인다”는 이유로 실제값 출력을 조기 재개해서는 안 된다. 출력 재개는 정책상 복귀 조건과 품질 조건이 모두 충족될 때만 허용된다.

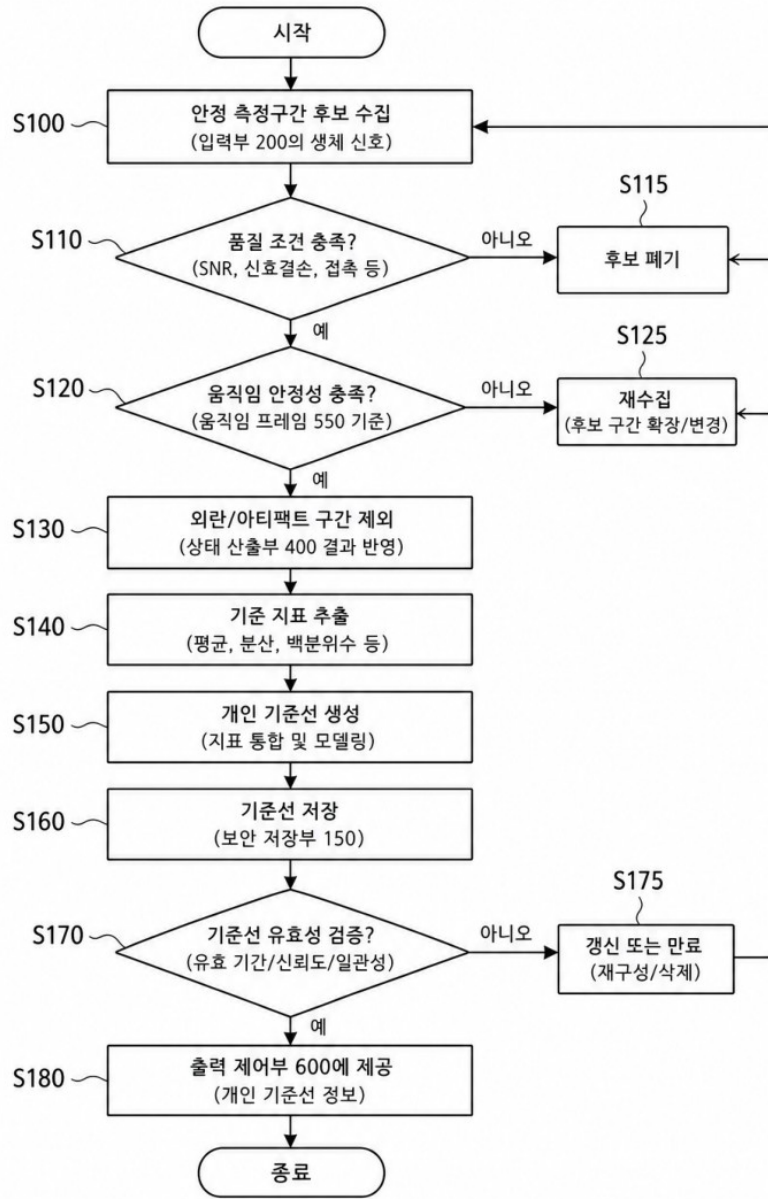
제 4 장은 외란 상태값 산출과 상태 전이를 설명하였다. 외란 벡터, 누적·감쇄 연산, 히스테리시스, 최소 유지시간은 부적격 후보값이 정상 출력으로 오인되는 것을 방지하는 핵심 운용 메커니즘이다.

제 5 장 프레임 관리자와 후보 출력



도 9

도면 9 참조 - 생체 관련 프레임, 이벤트 프레임, 출력 요청 프레임의 정합



도 10

도면 10 참조 - 개인 기준선 생성, 갱신, 만료 및 참조 흐름

5.1 공통 시간 기준

프레임 관리자는 생체 신호, 측정 품질 신호, 장치 동작 이벤트, 외란 상태값, 출력 요청을 공통 시간 기준으로 정합한다. 공통 시간 기준은 장치 내부 시계, 모바일 단말 시계, 서버 시계, 동기화 패킷, 보정된 타임스탬프 중 하나 또는 조합으로 구성될 수 있다. 운영자는 시간 오차가 큰 환경에서 이벤트와 생체 샘플이 잘못 매칭되지 않도록 드리프트 보정과 타임스탬프 정규화를 적용해야 한다.

프레임 정합의 결과는 Thermal Frame, Rhythm Frame, Hemodynamic Candidate Frame, Contact Quality Frame, Device Event Frame, Output Request Frame 으로 정리될 수 있다. 출력 요청이 들어오면 프레임 관리자는 해당 요청이 참조하는 후보 샘플과 동시 또는 인접 이벤트를 결합하고, 정책 패키지에서 정의한 선행·활성·후행 윈도우를 적용하여 출력 제어부에 전달한다.

5.2 체온·리듬·혈역학 후보

체온 관련 후보 출력은 피부접촉 온도, 주변온도, 피부-주변 온도차, 온도 변화율, 착용 지속시간, 접촉 품질, 장치 발열 외란, 햅틱 아티팩트를 입력으로 판단한다. 출력 가능 조건이 충족되면 실측값 또는 제한값을 제공할 수 있지만, 장치 발열 또는 접촉 불량이 의심되면 Warning, 재측정 요청, 비값 응답으로 전환한다.

리듬 관련 후보 출력은 ECG R-peak 후보, R-R interval, HR/HRV 후보, PPG pulse interval, ECG-PPG 동기성, 전극 접촉 품질, 움직임 안정성, 햅틱 이벤트, 외란 상태값을 입력으로 판단한다. 혈역학 관련 변화 패턴 후보는 ECG-PPG 시간차, PPG upstroke time, pulse amplitude, perfusion 관련 지표, HR/HRV, 피부온도, 주변온도, 접촉 품질, 움직임 안정성을 개인 기준선과 비교한다. 이 후보는 혈압 수치 확정 출력이 아니라 변화 패턴의 출력 가능성 판단이다.

5.3 개인 기준선 관리

개인 기준선은 안정 측정구간 후보에서 생성된다. 안정 측정구간은 신호 품질, 접촉 품질, 움직임 안정성, 외란 상태, 기준 조건을 모두 충족해야 한다. 기준선은 사용자, 장치 프로파일, 정책 패키지, 알고리즘 버전과 연결되어야 하며, 만료 조건과 갱신 조건이 명확해야 한다. 기준선이 만료되었거나 장치 프로파일이 변경되면 후보값의 개인 비교가 제한될 수 있다.

운영자는 개인 기준선을 의료 기준선으로 설명해서는 안 된다. 기준선은 출력 가능성과 비교 가능성을 위한 개인 기준 출력상태다. 예를 들어 사용자의 귀 형상, 착용 습관, 센서 접촉 위치, 장치 모델 차이, 환경 차이를 반영하여 정상적으로 비교 가능한 구간을 관리하는 것이다. 기준선 생성 또는 갱신 실패는 비값 응답 또는 재측정 안내의 사유 코드가 되어야 한다.

제 5 장은 프레임 관리자와 후보 출력을 다루었다. 공통 시간 기준과 개인 기준선이 있어야 체온·리듬·혈역학 후보가 의미 있는 출력 가능성 판단으로 처리되며, 기준선은 진단 기준이 아니라 비교 가능성 기준이다.

제 6 장 출력 전 제어와 비값 응답

6.1 출력 결정 엔진

출력 제어부는 출력 요청이 발생한 시점에 측정 품질 관련 신호와 외란 상태값을 함께 평가한다. 결정 결과는 실제값 출력, 제한 출력, Warning 출력, 재측정 요청, 원시값 접근 차단, 비값 응답 중 하나다. 결정 엔진은 요청 계층을 구분해야 한다. 모바일 앱 화면 요청, SDK 함수 호출, BLE 특성값 읽기 요청, 서버 API 요청, 외부 API 소비자 요청은 표시 방식과 권한이 다르기 때문이다.

결정 순서는 일반적으로 정책 유효성 확인, 장치 프로파일 확인, 기준선 유효성 확인, 측정 품질 평가, 외란 상태 평가, 햅틱 원도우 확인, 요청 계층 권한 확인, 출력 결정 생성, Evidence Packet 생성, 라우팅 실행의 순서로 구현된다. 어떤 단계에서든 부적격 조건이 발생하면 수치 억제부가 실제값 또는 원시값 반환을 막아야 한다.

6.2 수치 억제 경로

수치 억제부는 출력 제어부의 결정에 따라 실제 생체 관련 값 또는 원시 센서값의 반환을 제한한다. 앱 화면에서는 사용자가 이해할 수 있는 안내를 표시하고, SDK에서는 타입 안정적인 non_value 객체를 반환하며, BLE에서는 특성값에 비값 토큰 또는 상태 플래그를 반환하고, 서버 API에서는 reason_code와 evidence_packet_id를 포함한 non-value payload를 반환한다. 모든 경로에서 raw_value_access=false가 유지되어야 한다.

수치 억제 경로는 개발 편의를 위해 우회되어서는 안 된다. 디버그 빌드에서 raw_value가 노출되는 경우에도 운영 빌드와 외부 API에서는 계약상 금지될 수 있다. 운영자는 로그 수집과 디버그 접근 권한을 분리하고, 고객지원용 로그에도 생체값으로 오인될 수 있는 수치가 불필요하게 포함되지 않도록 관리해야 한다.

6.3 API/SDK/BLE 응답 예시

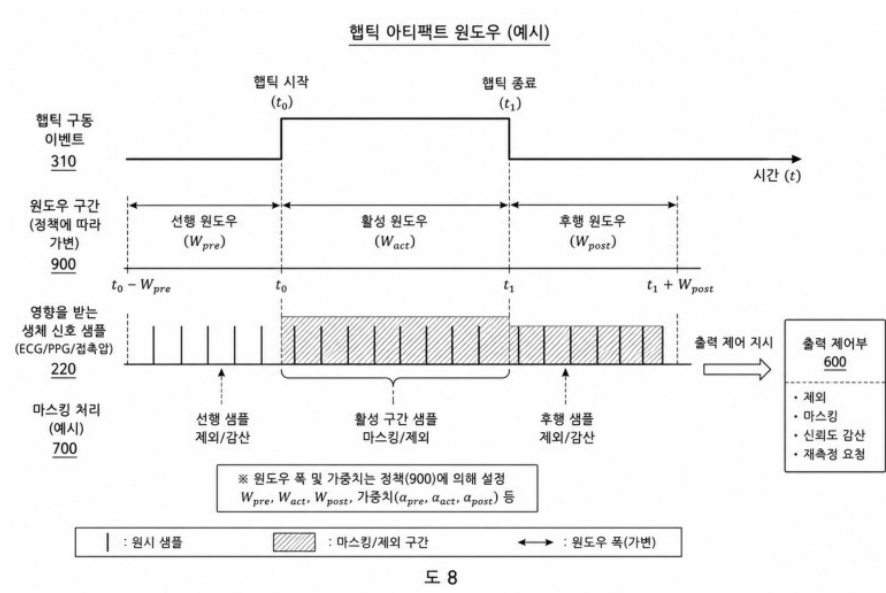
권장 API 응답 구조는 decision, value_state, value, raw_value_access, reason_code, state_flags, retry_after_ms, user_instruction, policy_package_id, algorithm_version, evidence_packet_id, integrity_status를 포함한다. 실제값 출력인 경우에도 policy_package_id와 algorithm_version이 포함되어야 하며, 제한 출력 또는 Warning인 경우 limitation_reason이 포함되어야 한다. 비값 응답인 경우 value는 null 또는 redacted로 처리하고 raw_value_access는 false여야 한다.

SDK 반환 객체는 개발자가 실수로 null을 정상값으로 파싱하지 않도록 명확한 타입을 가져야 한다. 예를 들어 Result.ValidValue, Result.LimitedValue, Result.Warning, Result.RemeasureRequired, Result.NonValue와 같은 분리 타입 또는 sealed class를 사용할 수 있다. BLE 경로에서는 수치 필드와 상태 필드를 분리하고, 비값 상태에서는 수치 필드를 sentinel로 채우더라도 생리값 범위에 들어가는 숫자를 사용하지 않아야 한다.

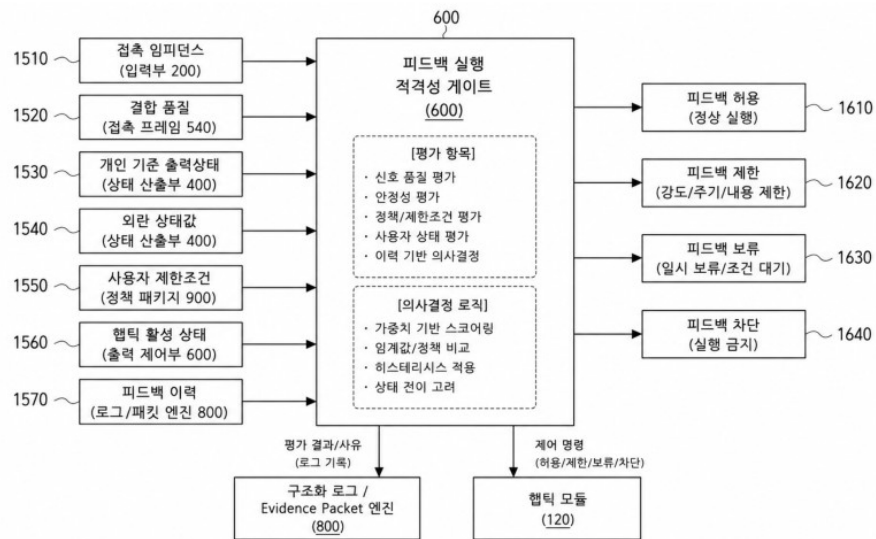
응답 경로	비값 상태의 권장 표현	금지 사항
모바일 앱	재측정 안내-접속 조정 안내	내부 후보 수치 표시 금지
SDK	타입 구분된 NonValue 객체	null을 정상값으로 파싱 가능하게 설계 금지
BLE	상태 플래그-비값 토큰	생리값 범위 숫자 sentinel 사용 금지
서버 API	reason_code-evidence_packet_id 포함 payload	raw_value 우회 반환 금지

제 6 장은 출력 결정과 비값 응답을 실제 운용 절차로 설명하였다. 핵심은 모든 경로에서 실제값 제공 전 결정이 이루어지고, 부적격 상태에서는 원시값 접근이 차단되며, API/SDK/BLE가 생체값으로 오인되지 않는 응답을 반환하는 것이다.

제 7 장 햅틱, 사용자 피드백, 안전 차단



도면 8 참조 - 햅틱 구동 전·중·후 아티팩트 윈도우



도 15

도면 15 참조 - 사용자 피드백 실행 적격성 게이트

7.1 햅틱 아티팩트 윈도우

햅틱은 사용자에게 앱 확인 또는 재측정을 유도하는 유용한 피드백 수단이지만, 동시에 ECG 전극, PPG 광학부, 접촉압 센서, 접촉 임피던스 측정부, 움직임 센서에 아티팩트를 유발할 수 있는 장치 동작 이벤트다. 따라서 햅틱을 단순 알림으로만 취급해서는 안 된다. 햅틱 구동 시작 전의 선행 윈도우, 구동 중의 활성 윈도우, 종료 후의 후행 윈도우를 정책 패키지로 관리해야 한다.

선행 윈도우는 전류 상승 또는 구동 준비 구간에 대응하고, 활성 윈도우는 실제 진동 구간에 대응하며, 후행 윈도우는 잔류 진동, 접촉 회복, 전류 안정화 구간에 대응한다. 이 구간에서는 생체 후보 출력이 제한되거나 재측정 요청으로 전환될 수 있다. 특히 후행 윈도우를 너무 짧게 설정하면 햅틱 잔류 효과가 끝나지 않았는데 실제값이 출력될 수 있으므로, 제품군별 검증이 필요하다.

7.2 피드백 실행 적격성 게이트

피드백 실행 적격성 게이트는 햅틱 또는 앱 안내를 실행하기 전에 사용자 상태, 접촉 품질, 개인 기준 출력상태, 외란 상태, 사용자 제한 조건, 피드백 이력, 로그/패킷 엔진의 상태를 평가한다. 피드백 허용, 피드백 제한, 피드백 보류, 피드백 차단 중 하나를 선택할 수 있다. 예를 들어 접촉이 불량한 상태에서 강한 햅틱을 반복하면 측정 품질이 더 악화될 수 있으므로 피드백 보류가 적절할 수 있다.

피드백은 실행 자체가 새로운 이벤트가 되므로 페루프적으로 관리해야 한다. 피드백 실행 기록은 Evidence Packet 또는 구조화 로그에 남고, 이후 출력 제어에서 햅틱 아티팩트 윈도우로 반영된다. 사용자가 무시한 피드백, 반복된 재측정 요청, 특정 시간 내 과다 피드백은 사용자 경험과 신뢰도에 영향을 주므로 정책 패키지에서 빈도 제한과 안전 차단 조건을 정의해야 한다.

7.3 앱 안내와 재측정 흐름

앱 안내는 기술적 결정을 사용자 언어로 번역하는 계층이다. 접촉 불량은 “안경 다리 끝부분이 귀 뒤 피부에 안정적으로 닿도록 조정하십시오”로, 햅틱 후행 윈도우는 “장치가 안정화되는 중입니다. 잠시 후 다시 측정하십시오”로, 기준선 만료는 “개인 기준선 갱신을 위해 안정된 상태에서 측정하십시오”로 표현할 수 있다. 그러나 앱은 내부 후보 수치를 보여주어서는 안 된다.

재측정 흐름은 안내, 대기 시간, 상태 재평가, 출력 재시도, Evidence Packet 갱신의 순서로 동작한다. `retry_after_ms`는 정책 패키지와 현재 외란 상태에 따라 계산된다. 재측정 후에도 동일 사유 코드가 반복되면 앱은 착용 위치 조정, 장치 충전 상태 확인, 주변 환경 안정화, 필요 시 외부 혈압계 사용 또는 의료기관 상담 권고와 같은 행동 안내를 제공할 수 있다. 이때도 확정 진단 표현은 피해야 한다.

제 7 장은 햅틱과 사용자 피드백을 안전 제어 대상으로 정리하였다. 햅틱은 알림이면서 외란 이벤트이므로, 선행·활성·후행 윈도우, 피드백 적격성 게이트, 빈도 제한, 재측정 흐름이 함께 운영되어야 한다.

제 8 장 운영 절차, QA, 장애 대응

8.1 초기 설치와 기준선 생성

초기 설치 절차는 장치 식별, 펌웨어/SDK/API 버전 확인, 정책 패키지 서명 검증, 장치 프로파일 매칭, 템플릿 장착 상태 확인, 센서 접촉 확인, 통신 연결 확인, 시간 동기화, 안정 측정구간 수집, 개인 기준선 후보 생성, 기준선 유효성 저장, Evidence Packet 샘플 생성으로 진행된다. 운영자는 각 단계의 실패 사유가 사용자 안내와 관리자 로그에 구분되어 남도록 해야 한다.

기준선 생성은 사용자가 안정된 상태에서 장치를 올바르게 착용하고, 외란 상태가 안정이며, 접촉 품질과 움직임 안정성이 충분한 경우에만 진행한다. 기준선이 생성되기 전에는 개인 비교가 필요한 후보 출력이 제한될 수 있다. 기준선 생성 실패는 오류가 아니라 정상적인 제어 결과일 수 있으므로, 앱은 재측정 조건과 예상 대기 시간을 제공해야 한다.

8.2 정기 점검과 정책 업데이트

정기 점검은 센서 접촉부 오염, 슬리브 변형, 배터리 상태, 방수 상태, 햅틱 동작, BLE 연결 안정성, 보안 저장부 무결성, 정책 패키지 버전, 알고리즘 버전, 기준선 만료 여부, Evidence Packet 생성 정상 여부를 포함한다. 점검 결과는 운영 로그에 기록하고, 주요 정책 변경 전후에는 동일 테스트 벡터를 실행하여 출력 결정 차이를 검토해야 한다.

정책 업데이트는 서명 검증, 호환 장치 프로파일 확인, 테스트 벡터 통과, 단계적 배포, 롤백 계획, Evidence Packet 버전 기록을 요구한다. 업데이트 후 출력 결정이 달라질 수 있으므로, 고객지원팀과 보안팀은 변경된 reason_code 또는 user_instruction 을 사전에 확인해야 한다. 정책 업데이트가 실패하면 기존 정책을 유지하거나 안전 모드로 전환해야 하며, 임의로 임계값을 완화해서는 안 된다.

8.3 장애·오류 대응

대표 장애는 접촉 불량 반복, 햅틱 후 측정 실패 반복, 통신 부하로 인한 출력 보류, 기준선 만료, 정책 패키지 검증 실패, Evidence Packet 무결성 실패, API 응답 스키마 불일치, BLE 특성값 파싱 오류, 앱 표시와 서버 응답의 결정 불일치다. 장애 대응의 첫 단계는 실제값을 복구하는 것이 아니라 원시값 우회 노출이 없는지 확인하는 것이다. 그 다음 Evidence Packet 을 기반으로 원인을 추적한다.

장애 분석 순서는 output_request_id 확인, frame_id 확인, policy_package_id 와 algorithm_version 확인, event_summary 확인, disturbance_vector 확인, quality_metrics 확인, decision 과 reason_code 확인, integrity_status 확인으로 구성한다. 문제의 원인이 정책 과민인지, 센서 접촉 문제인지, 햅틱 윈도우 설정 문제인지, API 권한 문제인지 분류한 뒤 조치한다. 운영자가 수동으로 값을 표시해야 하는 예외 상황은 원칙적으로 금지되며, 필요한 경우 별도 보안 승인과 감사 로그를 요구한다.

증상	우선 확인	권장 조치
접촉 불량 반복	contact_quality, impedance, 착용 위치	접촉 맵 재설정, 슬리브 위치 조정
햅틱 후 실패	artifact_window_id, vibration 성분	후행 윈도우와 최소 유지시간 조정
API 결정 불일치	policy_package_id, algorithm_version	정책 배포 상태와 캐시 갱신 확인
무결성 실패	integrity_hash, signature_ref	패킷 증거 불인정, 보안 사고 절차 실행

제 8 장은 설치, 기준선 생성, 점검, 정책 업데이트, 장애 대응 절차를 제공한다. 운영 품질의 기준은 값 표시의 편의가 아니라, 부적격 상태에서 원시값이 우회 노출되지 않고 Evidence Packet 으로 원인이 재현되는 것이다.

부록 B. 운용 체크리스트와 권장 스키마

B.1 운용 체크리스트

설치 전 장치 프로파일과 정책 패키지 호환성을 확인한다. 착용 후 접촉 품질, 움직임 안정성, 통신 연결, 시간 동기화를 확인한다. 기준선 생성 전 외란 상태가 안정 상태인지 확인한다. 햅틱 실행 후에는 후행 윈도우가 종료될 때까지 실제값 출력을 제한한다. API/SDK/BLE 응답에서 raw_value_access=false가 유지되는지 확인한다. Evidence Packet이 생성되고 무결성 검증을 통과하는지 확인한다. 정책 업데이트 후 테스트 벡터를 실행하고 결정 차이를 기록한다.

B.2 권장 스키마

권장 non-value response 스키마는 다음 필드를 포함한다: decision, value_state, value, raw_value_access, reason_code, state_flags, retry_after_ms, user_instruction, policy_package_id, algorithm_version, evidence_packet_id, integrity_status. 권장 Evidence Packet 스키마는 packet_id, timestamp, device_profile_id, user_profile_alias, baseline_id, frame_id, output_request_id, event_summary, disturbance_value, disturbance_vector, state_code, quality_metrics, artifact_window_id, decision, reason_code, policy_package_id, algorithm_version, integrity_hash, signature_ref를 포함한다. 실제 구현에서는 개인정보 최소화, 가명화, 보존 기간, 접근 권한을 함께 정의해야 한다.

부록은 현장 운용자가 즉시 사용할 수 있는 체크리스트와 스키마를 제시한다. 스키마의 핵심은 비값 응답과 Evidence Packet이 같은 결정 근거를 공유하고, raw_value 우회 노출을 방지하는 것이다.