

Analog Devices 트랜시버 평가 소프트웨어(TES) 심층 분석 보고서

Executive Summary

본 보고서는 Analog Devices(ADI)의 ADRV9001/ADRV9002 제품군 트랜시버를 위한 핵심 평가 및 설정 도구인 **트랜시버 평가 소프트웨어(Transceiver Evaluation Software, TES)**에 대한 포괄적인 분석을 제공한다. TES는 그래픽 사용자 인터페이스(GUI) 기반의 평가 플랫폼으로서의 역할과 **프로토타이핑에서 양산 단계로의 전환을 촉진하는 코드 생성 엔진**으로서의 이중적 기능을 수행한다. 본 보고서는 디지털 전치 왜곡(Digital Pre-Distortion, DPD), 자동 시분할 이중통신(Automated Time Division Duplexing, TDD), 고속 주파수 도약(Fast Frequency Hopping, FFH)과 같은 TES의 고급 기능들을 심도 있게 다루며, ADI가 제공하는 더 큰 규모의 복잡한 소프트웨어 생태계 내에서 TES가 차지하는 전략적 위치를 조명한다. 분석을 통해 TES가 단순한 평가 도구를 넘어, ADI의 고성능 트랜시버 기술 채택을 가속화하고 개발 워크플로우를 자사의 API 및 소프트웨어 프레임워크 중심으로 유도하는 핵심 자산임을 밝힌다.

1.0 ADI 트랜시버 평가 소프트웨어(TES) 생태계 소개

1.1 TES의 정의: RadioVerse™ 포트폴리오 내 역할과 목적

트랜시버 평가 소프트웨어(TES)는 **Analog Devices가 제공하는 포괄적인 Windows 기반 그래픽 사용자 인터페이스(GUI)** 패키지다.¹ 이 소프트웨어는 ADRV9002, ADRV9003, ADRV9004 등을 포함하는 ADRV9001 제품군의 트랜시버를 위한 주 제어 및 평가 인터페이스 역할을 한다.²

TES의 핵심 목적은 엔지니어가 별도의 제어 소프트웨어를 개발할 필요 없이 **칩 레벨의 상세한 성능 평가**를 수행하고, **복잡한 트랜시버 파라미터를 설정**하며, **무선 시나리오의 신속한 프로토타이핑**을 가능하게 하는 것이다.³ TES는 ADI의 RadioVerse™ 설계 생태계의 핵심 구성 요소로, 무선 시스템 개발 주기를 단순화하고 가속화하는 것을 목표로 한다.⁷ TES는 더 큰 규모의 소프트웨어 개발 키트(SDK) 패키지의 일부로 제공되며, 이 **SDK에는 평가 단계에서 최종 양산 단계로의 전환에 필요한 API 소스 코드, 펌웨어, 드라이버 등이 포함되어 있다.**¹

1.2 평가에서 양산까지의 워크플로우

ADI는 사용자를 위해 평가, 프로토타이핑, 양산의 3단계로 구성된 전략적 워크플로우를 제시한다.³

- **평가(Evaluation):** 사용자는 TES GUI와 지원되는 하드웨어 플랫폼을 사용하여 트랜시버의 기능을 탐색하고, 다양한 구성을 테스트하며, 프로젝트 요구사항에 대한 성능을 검증하는 것으로 시작한다.
- **프로토타이핑(Prototyping):** GUI에서 최종 구성이 확정되면, TES는 해당 설정을 정확하게 복제하는 초기화 스크립트(예: IronPython 또는 C99)를 생성할 수 있다.¹¹ 이를 통해 트랜시버 구성을 MATLAB과 같은 상위 레벨 시스템 모델에 통합할 수 있다.⁹
- **양산(Production):** 생성된 C99 코드와 바이너리 프로파일 파일(profile.bin)은 최종 임베디드 애플리케이션의 기반이 된다. 이를 통해 개발자는 검증된 구성을 고객의 맞춤형 하드웨어 및 베이스밴드 프로세서로 이식할 수 있다.¹²

1.3 아키텍처 개요: TES, API, 펌웨어 및 하드웨어 상호작용

TES 시스템의 아키텍처는 여러 계층으로 구성된다. Windows PC에서 실행되는 TES GUI는 이더넷 연결을 통해 FPGA 마더보드의 임베디드 Linux 시스템에서 실행되는 서버 애플리케이션과 통신한다.¹⁶ 이 서버는 원격 프로시저 호출(RPC) 엔드포인트 역할을 하며, GUI 명령을 트랜시버를 제어하는 API 호출로 변환한다.¹⁷ API는 다시 트랜시버 내부의 ARM 프로세서에서 실행되는 디바이스 드라이버 및 펌웨어와 상호작용한다.¹² 이러한 구조는 PC에서의 상위 레벨 평가 작업을 평가 하드웨어 자체에서 관리하는 저수준 실시간 작업과 효과적으로 분리시킨다.

이러한 구조는 TES가 단순한 유틸리티가 아님을 시사한다. ADI는 고속 주파수 도약(FFH) 및 특정 TDD IP 구성과 같은 가장 가치 있는 고급 기능들을 TES 환경에 독점적으로 제공한다.¹⁸ 반면,

libdrv9002-iiio와 같은 프로그래밍 방식의 대안에서는 이러한 기능들이 제외되어 있다. 이는 개발자들이 ADI 하드웨어를 신속하게 평가하고 채택하도록 유도하는 강력한 '온보딩' 경로를 제공함과 동시에, 고급 기능을 사용하기 위해서는 ADI의 소프트웨어 프레임워크를 중심으로 양산 시스템을 구축하도록 장려하는 전략적 선택이다. 결과적으로 TES는 RF 도메인 전문가가 그래픽 환경에서 시스템 동작을 정의하면, 소프트웨어가 이를 임베디드 코드로 변환해주는 '기술적 가교' 역할을 수행한다. 이는 복잡한 SDR 프로젝트에서 흔히 발생하는 분야 간의 마찰과 지식 격차를 크게 줄여준다.

2.0 시스템 아키텍처 및 초기 설정

2.1 하드웨어 요구사항: 트랜시버 평가 보드 및 **FPGA** 플랫폼

TES를 활용하기 위해서는 소프트웨어뿐만 아니라 특정 하드웨어 구성 요소로 이루어진 완전한 평가 시스템이 필요하다.

- **트랜시버 라디오 카드:** 핵심 구성 요소는 **ADRV9002** 평가 보드이며, 특정 주파수 대역에 맞춰 다른 버전으로 제공된다 (예: 30MHz-3GHz용 **ADRV9002NP/W1/PCBZ**, 3GHz-6GHz용 **ADRV9002NP/W2/PCBZ**).¹⁹ TES는 이 보드들을 사용하여 **ADRV9003** 및 **ADRV9004**와 같은 다른 제품군을 에뮬레이션할 수도 있다.²⁰
- **FPGA** 마더보드: 이 라디오 카드들은 **FMC/FMC+** 커넥터를 통해 강력한 **FPGA** 마더보드에 연결된다. 이 마더보드는 베이스밴드 프로세서 및 제어 호스트 역할을 한다. 공식적으로 지원되는 플랫폼은 Xilinx **ZC706** 및 **ZCU102**이다.³ 다른 트랜시버 제품군(예: **ADRV9026**)의 경우 **ADS9-V2EBZ**와 같은 다른 플랫폼이 필요하며, 이는 생태계가 플랫폼에 특화되어 있음을 보여준다.²²

2.2 소프트웨어 환경: **SDK** 패키지 및 **SD** 카드 이미지

핵심 소프트웨어는 TES를 포함하는 "제품 라인 **SDK** 패키지"이다.³ 개발 과정은 제품 페이지(예:

analog.com/ADRV9002)에서) 이 **SDK**를 다운로드하는 것으로 시작된다.¹

매우 중요한 구성 요소는 **SD** 카드 이미지이다. **FPGA** 마더보드는 서버 소프트웨어, 펌웨어, **FPGA** 비트스트림이 포함된 **Linux** 기반 환경을 **microSD** 카드로부터 부팅한다.²³ 이 이미지는 TES와 함께 설치되는 **ADRV9001** 디스크 이미징 유틸리티와 같은 도구를 사용하여 최소 **16GB** 용량의 **SD** 카드에 기록해야 한다.¹ **SD** 카드 이미지 버전과 TES 소프트웨어 버전이 일치하지 않으면 연결 실패의 원인이 될 수 있으므로, 버전 일치가 매우 중요하다.¹⁶

2.3 설치 및 연결 절차

공식 튜토리얼 영상에 기반한 설정 절차는 다음과 같다 ¹:

1. SDK를 다운로드하고 압축을 해제한다.
2. TES와 SD 카드 이미징 도구를 설치한다 (시스템 전체 설치를 위해 관리자 권한으로 실행 권장).²³
3. 적절한 SD 카드 이미지를 microSD 카드에 기록한다.
4. 하드웨어를 조립한다: 라디오 카드를 FPGA 마더보드에 연결하고, SD 카드를 삽입한 후, 전원과 이더넷 케이블을 연결한다.
5. FPGA 플랫폼의 전원을 켜고 호스트 PC에서 TES를 실행한다.
6. 일반적으로 DHCP 또는 고정 IP 구성을 사용하여 이더넷을 통해 연결을 설정한다.²⁷

2.4 초기 설정 및 연결 디버깅

초기 설정 시 흔히 발생하는 문제점으로는 이더넷 주소 충돌, 호스트 PC의 방화벽 차단, 잘못된 SD 카드 이미지 사용, 전원 공급 문제 등이 있다.¹⁶

HwOpen Failed 또는 Server Failed to Start와 같은 오류 메시지에 대해 TES 로그 파일을 확인하는 것이 주요 디버깅 단계이다.¹⁶

이러한 설정 과정은 평가 시스템이 고도로 통합된 하나의 '어플라이언스'처럼 작동하도록 설계되었음을 보여준다. 시스템은 사용자가 내부의 복잡한 임베디드 리눅스 시스템을 직접 다룰 필요 없이, 사전 컴파일된 SD 카드 이미지와 TES GUI를 통해 상호작용하도록 구성되어 있다. 이는 RF 엔지니어가 시스템에 쉽게 접근할 수 있도록 진입 장벽을 낮추는 장점이 있다. 그러나 문서화된 일반적인 문제를 벗어나는 오류가 발생할 경우, 사용자는 시스템 수준의 심층 디버깅을 수행할 가시성이나 제어 권한이 거의 없으므로 ADI의 지원 채널에 전적으로 의존하게 된다.¹

표 2.1: 지원 하드웨어 매트릭스

트랜시버 평가 보드	지원 주파수 대역	호환 FPGA 마더보드	주요 SDK 버전 종속성
ADRV9002NP/W1/P CBZ	30 MHz – 3 GHz	Xilinx ZC706, ZCU102	ZCU102는 SDK v15 이상에서 지원

ADRV9002NP/W2/P CBZ	3 GHz – 6 GHz	Xilinx ZC706, ZCU102	ZCU102는 SDK v15 이상에서 지원
------------------------	---------------	-------------------------	----------------------------

3.0 핵심 기능 및 GUI 기반 워크플로우

3.1 TES 설정 인터페이스: 프로파일 생성 및 파라미터화

TES의 주요 기능은 트랜시버의 모든 동작 파라미터를 정의하는 "프로파일"을 생성하는 것이다.²⁸ 사용자는 이중통신 모드(TDD/FDD), RF 주파수, 샘플링 속도, 대역폭, 필터 설정 등 핵심 파라미터를 GUI를 통해 직관적으로 설정할 수 있다.²⁸

TES 내의 다양한 탭과 설정들은 최종적으로 Profile.bin 파일 생성에 기여한다. 이 바이너리 파일은 트랜시버의 내장 ARM 프로세서와 스트림 프로세서를 위한 설정 데이터를 담고 있다.¹² 비표준 대역폭이나 샘플링 속도를 위해서는 "프로파일 설정 도구(Profile Configuration Tool)" 또는 "필터 마법사(Filter Wizard)"로 알려진 외부 도구를 사용할 수 있다. 이 도구는 MATLAB 앱 또는 독립 실행형 프로그램으로 제공되며, 맞춤형 FIR 필터를 설계하고 생성된 프로파일을 TES로 가져와 사용한다.²⁸

3.2 기본 송수신 동작 실행

간단한 송수신 테스트를 실행하는 실제 단계는 다음과 같다.¹

- 송신(Tx): TES를 통해 송신 데이터 파일(파형)을 FPGA 메모리에 로드한 후 전송을 시작한다.
- 수신(Rx): 수신 체인을 설정하고 ADC로부터 데이터를 캡처한다. 캡처된 데이터는 오프라인 분석을 위해 저장할 수 있다.
이 과정에서 DMA(직접 메모리 접근) 신호는 트랜시버의 SSI 포트와 FPGA 메모리 간의 데이터 흐름을 제어하는 중요한 역할을 한다.¹⁴

3.3 통합된 신호 시각화 및 시스템 모니터링 도구

TES는 완전한 기능을 갖춘 스펙트럼 분석기는 아니지만, 기본적인 시각화 및 모니터링 기능을 포함한다. "전력/온도 모니터" 창을 통해 온칩 센서 값을 확인할 수 있다. 단, 특정 SDK 버전에서는 이 측정값의 정확도에 문제가 있는 것으로 알려져 있어 사용자의 주의가 필요하다.²⁵ 상세한 신호 분석이 필요한 경우, 일반적인 워크플로우는 TES 내에서 데이터를 캡처한 후 MATLAB과 같은 외부 도구로 내보내 분석하는 것이다.³¹

TES의 설정 방식은 "가드레일" 철학을 구현한 것으로 볼 수 있다. ADRV900x 트랜시버는 수천 개의 레지스터 설정을 포함하고 있어 직접 제어는 매우 비효율적이고 오류 발생 가능성이 높다. TES와 프로파일 설정 도구는 "대역폭", "RF 주파수"와 같은 상위 레벨의 파라미터를 사용자에게 제시한다.²⁸ 그러면 소프트웨어는 해당 설정을 구현하는 데 필요한 수많은 내부 파라미터(클럭 속도, 필터 탭, ADC 프로파일 등)를 트랜시버의 동작 한계 내에서 계산하고 검증한다.²⁸ 이는 사용자가 유효하지 않거나 작동 불가능한 구성을 만드는 것을 방지한다. 포괄적인 파라미터 설명 문서가 제공되지 않는 점³⁰ 또한 이러한 철학을 뒷받침하며, 사용자가 개별 설정을 미세 조정하기보다는 도구의 추상화를 신뢰하도록 유도한다.

4.0 고급 기능 심층 분석

4.1 자동 시분할 이중통신(TDD) 제어

4.1.1 TES에서의 TDD 프레임 구성 원리

TES의 "자동 TDD(Automated TDD)" 탭은 복잡한 TDD 프레임 구조를 설계하는 기능을 제공한다.¹⁵ 사용자는 이를 통해 LTE와 같은 표준에 필수적인 송신 및 수신 슬롯의 타이밍과 길이를 정의할 수 있다.¹⁵ 이 기능은 TDD 구성에서만 호환되며 FDD에서는 사용할 수 없다.¹⁵ 관련 비디오 튜토리얼은 이 기능의 핵심 학습 자료로 활용될 수 있다.³²

4.1.2 TDD 활성화 지연 및 제어 신호(DMA/Pin) 설정

TDD 구성은 두 가지 유형의 제어 신호 타이밍 설정을 포함한다. 하나는 RF 신호 체인의 전원 온/오프를 제어하는 "Pin" 신호(예: RX_ENABLE)이고, 다른 하나는 FPGA 메모리에 대한 데이터 접근을 제어하는 "DMA" 신호이다.¹⁴ "TDD 활성화 지연(TDD Enablement Delays)" 탭에서는 신호 체인의 전원 상승 지연 및 전파 지연을 보상하기 위해 이러한 타이밍을 미세 조정할 수 있다.¹⁴

4.1.3 맞춤형 애플리케이션을 위한 TDD 상태 머신 내보내기

자동 TDD 도구의 핵심 기능 중 하나는 설계된 타이밍 구조, 즉 TDD 상태 머신을 C99 코드로 내보내는 기능이다.¹⁴ 이를 통해 평가 플랫폼에서 검증된 복잡한 타이밍 및 제어 로직 전체를 고객의 최종 시스템 및 마스터 IC로 직접 이식할 수 있다.

4.2 디지털 전치 왜곡(DPD)을 이용한 전력 증폭기 선형화

4.2.1 이론적 배경 및 하드웨어 루프백 요구사항

DPD는 전력 증폭기(PA)가 비선형적인 압축 영역에서 동작하도록 하여 효율을 개선하는 핵심 기술이다.³¹ DPD는 피드백 경로를 통해 PA의 비선형성을 계산하고, 증폭 전에 신호에 역 왜곡을 적용하는 원리로 작동한다. 이를 위해서는 PA 출력을 커플링하고 감쇠시켜 트랜시버의 수신 채널(특히, 관찰 수신기 또는 ORx 채널) 중 하나로 피드백하는 물리적인 외부 루프백 경로가 반드시 필요하다.¹²

4.2.2 TES에서의 DPD 교정 및 설정 프로세스

TES에서의 DPD 설정 과정은 외부 루프백 경로의 지연 시간을 교정하고, "고급 기능(Advanced Features)" 탭에서 DPD 파라미터(예: 록업 테이블 크기)를 설정하며, DPD 추적 교정을 활성화하는 단계를 포함한다.³¹ DPD 알고리즘의 불안정성을 피하기 위해 단절 없는 연속적인

송신 파형을 사용하는 것이 중요하다.³¹

4.2.3 Python 스크립트 및 MATLAB 도구를 이용한 데이터 캡처 및 분석

TES는 GUI에서 직접 IronPython 스크립트(dpd_capture.py)를 실행하여 고급 DPD 분석을 지원한다.³¹ 이 스크립트는 송신 및 수신 데이터를 동시에 캡처하여

.csv 파일로 저장한다. 이 데이터는 ADI가 제공하는 외부 MATLAB 도구에서 신호 무결성, 정렬 상태를 검사하고 DPD 성능을 미세 조정하는 데 사용될 수 있다.³¹

4.3 고속 주파수 도약(FFH)

4.3.1 TDD 모드를 통한 구현

고속 주파수 도약은 군 통신과 같이 재밍 및 간섭에 대한 저항이 요구되는 애플리케이션에 필수적인 기능이다.³³ ADRV9002 생태계에서의 FFH 구현은 TDD 모드와 본질적으로 연결되어 있다. TDD 프레임의 송신/수신 슬롯 사이의 '데드 타임'을 이용하여 국부 발진기(LO)를 다음 도약 주파수로 재조정한다.¹² 따라서 FFH는 자동 TDD 기능의 사용을 전제로 한다.

4.3.2 도약 테이블 설정 및 관리

도약 순서는 "도약 테이블(Hop Table)" 파일에 정의된다. TES는 설치 디렉터리에 이 테이블의 예제를 제공한다.¹² 사용자는 맞춤형 테이블을 생성하고 TES GUI를 통해 로드하여 애플리케이션에 맞는 도약 패턴을 정의할 수 있다. 소프트웨어는 LO 재조정 및 신호 체인 재교정과 같은 복잡한 작업을 트랜시버의 내부 ARM 프로세서에 오프로드하여, 외부 C 스크립팅으로 달성할 수 있는 것보다 훨씬 빠르고 안정적인 도약을 가능하게 한다.¹²

이러한 고급 기능들은 단순한 소프트웨어 설정이 아니라 시스템 수준의 접근을 요구한다. DPD를 성공적으로 구현하기 위해서는 외부 PA, 커플러, 감쇠기 등 RF 하드웨어를 통합하고 링크 버짓을 이해하며 정밀한 RF 경로 교정을 수행해야 한다.³¹ 마찬가지로 FFH는 TDD 프레임

및 타이밍에 대한 깊은 이해를 필요로 한다.¹² 이는 이 기능들의 목표 사용자가 단순한 소프트웨어 조작자가 아닌, 디지털 제어 평면과 물리적 RF 도메인 간의 상호작용을 이해하는 고도로 숙련된 RF 시스템 엔지니어임을 시사한다.

5.0 TES 개발 및 자동화 환경

5.1 IronPython 스크립팅을 통한 자동화 및 맞춤형 분석

TES는 통합 IronPython 스크립트 편집기 및 실행 엔진을 내장하고 있다.³¹ 이를 통해 반복적인 작업을 자동화하고, 맞춤형 테스트 시퀀스를 생성하며, 표준 GUI 기능을 넘어서는 특화된 데이터 캡처 루틴을 구현할 수 있다.

`dpd_capture.py` 스크립트는 DPD 분석을 위한 정교한 데이터 수집을 가능하게 하는 대표적인 예이다.³¹ 또한,

도구 -> 스크립트 생성 메뉴를 통해 현재 GUI 설정을 기반으로 Python 스크립트를 자동 생성하여 맞춤형 자동화의 시작점으로 활용할 수 있다.¹¹

5.2 양산 시스템을 위한 코드 생성(C99 및 프로파일 바이너리)

TES는 평가에서 양산으로 전환하는 중요한 워크플로우를 지원한다. 앞서 언급했듯이, TES는 ADI API를 활용하여 디바이스를 설정하는 C99 코드를 생성할 수 있다.¹² 이와 함께 복잡한 필터 계수, 샘플링 속도 및 스트림 프로세서 설정을 캡슐화하는

`profile.bin` 파일도 생성된다.¹² 이 두 가지 결과물(C 코드와 바이너리 프로파일)은 TES 평가 단계의 핵심 산출물로서, 고객의 최종 임베디드 시스템에 통합되도록 설계되었다.

5.3 더 넓은 소프트웨어 생태계: libadrv9002-iiio 및 Linux IIO 프레임워크와의 관계

TES는 GUI 기반의 주요 도구이지만, ADI는 프로그래밍 방식의 접근법도 지원한다.

- **libadrv9002-iio:** 이 라이브러리는 프로그래밍 방식으로 설정 프로파일을 생성하기 위한 소프트웨어 라이브러리로, 다양한 CPU 아키텍처와 운영체제에서 사용할 수 있다.¹⁸ 이는 "TES와 유사하지만 프로그래밍 인터페이스를 가진다"고 설명되며¹⁸, 프로파일 생성을 자동화 스크립트나 애플리케이션에 통합해야 하는 사용자를 대상으로 한다.
- **Linux IIO 프레임워크:** Linux 기반 시스템 및 프로토타이핑을 위해 ADI는 산업용 I/O(IIO) 프레임워크 기반의 오픈 소스 Linux 드라이버를 제공한다.³ libiio 라이브러리는 애플리케이션이 이 드라이버와 상호작용하여 IQ 데이터를 낮은 오버헤드로 스트리밍할 수 있게 해주며, 이는 TES의 단일 버스트 캡처 방식보다 연속적인 데이터 스트림에 더 효율적이다.¹⁷

이러한 소프트웨어 경로 간에는 중요한 기능적 차이가 존재한다. libadrv9002-iio와 IIO 드라이버는 DPD, 추적 교정, 고속 주파수 도약과 같은 TES에서 제공되는 특정 FPGA 관련 고급 기능들을 명시적으로 지원하지 않는다.¹⁸ 이는 개발자에게 중요한 결정 지점을 제시한다.

표 5.1: TES와 프로그래밍 방식 라이브러리 기능 비교

기능	TES GUI/SDK	libadrv9002-iio	Linux IIO 드라이버
GUI 기반 설정 및 시각화	예	아니요	아니요
기본 송수신 데이터 캡처	예	아니요	예
자동 TDD 설정	예	아니요	아니요
디지털 전치 왜곡(DPD)	예	아니요	아니요
고속 주파수 도약(FFH)	예	아니요	아니요
추적 교정	예	아니요	아니요

C99 코드 생성	예	아니요	아니요
저-오버헤드 연속 스트리밍	아니요	아니요	예
오픈 소스	아니요	예	예
주요 지원 채널	ADI EngineerZone	ADI EngineerZone	ADI EngineerZone

6.0 지원, 리소스 및 버전 관리

6.1 공식 문서 및 커뮤니티 지원 채널 탐색

ADI의 지원 생태계는 광범위하지만 분산되어 있다. 핵심 공식 문서는 ADRV9001 제품군을 위한 시스템 개발 사용자 가이드(UG-1828)이다.⁴

주요 커뮤니티 지원 채널은 ADI EngineerZone이다. 이곳에는 TES GUI 및 소프트웨어 지원과 트랜시버 일반 설계 지원을 위한 전용 하위 포럼이 존재한다.¹ 이 포럼들은 ADI 엔지니어들이 직접 모니터링하며 FAQ 및 기술 Q&A의 저장소 역할을 한다.³⁶

6.2 SDK 버전 관리, 변경 로그 및 정오표 이해

버전 관리는 매우 중요하다. SDK 패키지에는 해당 릴리스의 추가 사항, 변경 사항 및 알려진 버그를 상세히 기술한 Changelog.txt 파일이 포함되어 있다.²⁵ 또한, ADI는 EngineerZone에 "SDK 정오표(Errata): FAQ" 페이지를 별도로 운영한다.²⁵ 이 페이지에는 릴리스 이후에 발견된 버그 및 문제점, 그리고 이에 대한 상태 및 가능한 해결 방법이 목록으로 제공된다.

예를 들어, SDK v23.1에서 전력 모니터 측정값이 부정확한 문제나 v21에서 DPD 관련 문제가 있었던 사례들이 있다.²⁵ 이는 개발자가 프로젝트를 시작하기 전에 이러한 리소스를 반드시 참조하여 알려진 제한 사항을 인지해야 함을 보여준다.

이러한 정오표 페이지의 존재는 TES 생태계가 정적이고 완벽한 제품이 아니라, 지속적으로 개발되고 디버깅되는 '살아있는' 플랫폼임을 의미한다. 이는 프로젝트 관리에 중요한 시사점을 제공한다. 개발 일정에는 소프트웨어 버그로 인한 잠재적 지연을 고려해야 한다. 프로젝트 계획에는 정오표를 확인하고, 해결 방법을 구현하며, 경우에 따라서는 블로킹 문제를 해결할 차기 SDK 릴리스를 기다리는 데 필요한 버퍼 시간을 포함해야 한다. 이러한 현실을 무시하는 것은 상당한 프로젝트 리스크를 초래할 수 있다.

7.0 결론 및 전략적 권장사항

7.1 TES의 역량 및 한계 요약

TES 플랫폼에 대한 최종 평가는 다음과 같이 요약할 수 있다.

- **역량:** 초기 하드웨어 평가, 복잡한 트랜시버 기능의 신속한 설정, RF 도메인 전문가를 위한 강력한 GUI, 그리고 코드 생성을 통한 명확하고 구조화된 양산 경로를 제공하는 독보적인 도구이다.
- **한계:** 주로 Windows 기반 도구이며, IIO에 비해 연속 데이터 스트리밍 기능이 제한적이다. 특정 고급 기능들은 TES/SDK 환경에 독점적으로 제공되며, 평가 플랫폼 자체의 심층적인 맞춤화가 제한된 비교적 폐쇄적인 '어플라이언스'로 작동한다.

7.2 사용자 유형별 권장 개발 경로

본 보고서의 모든 분석을 종합하여, 다양한 사용자 유형에 맞춘 전략적 조언을 다음과 같이 제시한다.

- **RF 시스템 엔지니어:** TES와 전체 평가 키트로 시작하는 것을 권장한다. GUI를 사용하여 모든 RF 성능 지표를 검증하고 DPD 및 TDD와 같은 고급 기능을 설정한다. 최종적으로 생성된 C99 코드와 프로파일 바이너리를 소프트웨어 팀에 전달하는 것을 주요 산출물로 삼는다.
- **임베디드 소프트웨어 개발자 (맞춤형 RTOS/Bare-metal 시스템):** TES에서 생성된 C99 코드와 프로파일 바이너리를 시작점으로 삼는다. ADI API와 하드웨어 추상화 계층(HAL)을 대상 시스템의 툴체인에 통합하고, 생성된 초기화 시퀀스를 호출하는 애플리케이션 로직을 작성하는 것이 주요 과제이다.
- **SDR 프로토타이핑 팀 (Linux/GNU Radio 사용):** 중요한 선택이 필요하다. DPD나 FFH

기능이 필수적이라면, TES/SDK 경로를 따라야 하며, 필요에 따라 Python 스크립팅을 사용하여 TES를 자동화할 수 있다. 만약 TES 독점 기능이 필요 없고, 맞춤형 파형 처리를 위한 고속 연속 데이터 스트리밍이 주된 요구사항이라면, Linux IIO 드라이버와 libiio 경로가 더 효율적이고 개방적인 선택이다. 단, 이 경로는 더 높은 수준의 Linux 개발 기술을 요구한다.

- 기술 프로젝트 관리자: 두 가지 뚜렷한 개발 경로(TES/SDK 대 Linux IIO)와 이것이 기능, 지원, 그리고 요구되는 팀 전문성에 미치는 영향을 인지해야 한다. SDK가 '살아있는' 생태계를 고려하여 SDK 정오표에서 확인된 잠재적 문제에 대응할 수 있도록 프로젝트 일정에 버퍼 시간을 포함시켜야 한다. 또한, 하드웨어 조달 계획이 본 보고서에서 제시된 호환성 매트릭스와 일치하는지 확인해야 한다.

참고 자료

1. ADRV9001 Quick Start Guide - YouTube, 9월 15, 2025에 액세스, https://www.youtube.com/watch?v=AXiYqCG_JzE
2. Reference Manual ADRV9001, 9월 15, 2025에 액세스, <https://static.chipdip.ru/lib/426/DOC053426666.pdf>
3. Software and hardware selection guide ADRV9001 - Scribd, 9월 15, 2025에 액세스, <https://www.scribd.com/document/554813776/adrv9001-software-and-hardware-selection-guide>
4. ADRV9001 System Development User Guide, UG-1828 (Rev. PrB), 9월 15, 2025에 액세스, <https://www.mouser.com/pdfDocs/EVAL-ADRV9002.pdf>
5. ADRV9001 - UG-1828 (Rev.A) - Analog Devices, 9월 15, 2025에 액세스, <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/user-guides/adrv9001-ug1828.pdf>
6. RadioVerse™ - ADI - Mouser Electronics, 9월 15, 2025에 액세스, <https://www.mouser.com/new/analog-devices/adi-radioverse/>
7. Analog Devices RadioVerse technology: Simpler wireless system design - EDN, 9월 15, 2025에 액세스, <https://www.edn.com/analog-devices-radioverse-technology-simpler-wireless-system-design/>
8. Analog Devices simplifies wireless system design with RadioVerse ecosystem, 9월 15, 2025에 액세스, <https://www.powersystemsdesign.com/articles/analog-devices-simplifies-wireless-system-design-with-radioverse-ecosystem/37/10274>
9. ADRV9002 + ZCU102 workflow - Q&A - TES GUI & Software Support ADRV9001 - ADRV9007 - EngineerZone, 9월 15, 2025에 액세스, <https://ez.analog.com/wide-band-rf-transceivers/tes-gui-software-support-adrv9001-adrv9007/f/q-a/553877/adrv9002-zcu102-workflow/444701>
10. ADRV9002 + ZCU102 workflow - Q&A - TES GUI & Software Support ADRV9001 - ADRV9007 - EngineerZone, 9월 15, 2025에 액세스, <https://ez.analog.com/wide-band-rf-transceivers/tes-gui-software-support-adrv9001-adrv9007/f/q-a/553877/adrv9002-zcu102-workflow>
11. python scripts. - Q&A - Design Support ADRV9010 - EngineerZone - Analog

- Devices, 9월 15, 2025에 액세스,
<https://ez.analog.com/rf/wide-band-rf-transceivers/design-support-adv9010/f/q-a/538749/python-scripts>
12. definition of features and configurations in adv9002 - Q&A - TES GUI & Software Support ADRV9001 – ADRV9007 - EngineerZone, 9월 15, 2025에 액세스,
<https://ez.analog.com/rf/wide-band-rf-transceivers/tes-gui-software-support-adv9001-adv9007/f/q-a/549982/definition-of-features-and-configurations-in-adv9002>
 13. Analog Devices RF Transceivers - AD9361, AD9363, AD9364, AD9371, AD9375, ADRV9008-1, ADRV9008-2, ADRV9009 - Third-Party Products & Services - MathWorks, 9월 15, 2025에 액세스,
https://nl.mathworks.com/products/connections/product_detail/adi-rf-transceivers.html
 14. Configuration #0 - Documents - TES GUI & Software Support ADRV9001 - EngineerZone, 9월 15, 2025에 액세스,
<https://ez.analog.com/wide-band-rf-transceivers/tes-gui-software-support-adv9001-adv9007/w/documents/15628/configuration-0>
 15. Automated TDD - Documents - TES GUI & Software Support ..., 9월 15, 2025에 액세스,
<https://ez.analog.com/wide-band-rf-transceivers/tes-gui-software-support-adv9001-adv9007/w/documents/15627/automated-tdd>
 16. ADRV9001 TES Connection Issues Debug - YouTube, 9월 15, 2025에 액세스,
<https://www.youtube.com/watch?v=5sJ8VGdYsbM>
 17. differences between libiio and the TES software in terms of the adv9001 - EngineerZone, 9월 15, 2025에 액세스,
<https://ez.analog.com/linux-software-drivers/f/q-a/554423/differences-between-libiio-and-the-tes-software-in-terms-of-the-adv9001>
 18. libadv9002-iio v0.1.0 - GitHub Pages, 9월 15, 2025에 액세스,
https://analogdevicesinc.github.io/libadv9002-iio/v68_8_1/index.html
 19. ADRV9002 Evaluation Boards - ADI - Mouser Electronics, 9월 15, 2025에 액세스,
<https://eu.mouser.com/new/analog-devices/adi-adv9002-eval-boards/>
 20. EVAL-ADRV9002 Evaluation Board - Analog Devices, 9월 15, 2025에 액세스,
<https://www.analog.com/en/resources/evaluation-hardware-and-software/evaluation-boards-kits/eval-adv9002.html>
 21. ADRV9002, ZCU102, IIO and qIQ Transceiver - YouTube, 9월 15, 2025에 액세스,
<https://www.youtube.com/watch?v=khhk75Y8cHI>
 22. EVAL-ADRV9026/ADRV9029 Evaluation Board - Analog Devices, 9월 15, 2025에 액세스,
<https://www.analog.com/en/resources/evaluation-hardware-and-software/evaluation-boards-kits/eval-adv9026.html>
 23. 1) Installation and Configuration - Documents - TES GUI & Software Support ADRV9001 – ADRV9007 - EngineerZone, 9월 15, 2025에 액세스,
<https://ez.analog.com/wide-band-rf-transceivers/tes-gui-software-support-adv9001-adv9007/w/documents/15491/1-installation-and-configuration>
 24. SD Card Image: FAQ - Documents - TES GUI & Software Support ADRV9001 –

- ADRV9007, 9월 15, 2025에 액세스,
<https://ez.analog.com/wide-band-rf-transceivers/tes-gui-software-support-adrv9001-adrv9007/w/documents/15476/sd-card-image-faq>
25. SDK Errata: FAQ - Documents - TES GUI & Software Support ADRV9001 - EngineerZone, 9월 15, 2025에 액세스,
<https://ez.analog.com/rf/wide-band-rf-transceivers/tes-gui-software-support-adrv9001-adrv9007/w/documents/15685/sdk-errata-faq>
26. Quick Start: FAQ - Documents - TES GUI & Software Support ADRV9001 - EngineerZone, 9월 15, 2025에 액세스,
<https://ez.analog.com/wide-band-rf-transceivers/tes-gui-software-support-adrv9001-adrv9007/w/documents/15490/quick-start-faq>
27. ADRV9002 unboxing with TES software and ZC706 FPGA - YouTube, 9월 15, 2025에 액세스, https://www.youtube.com/watch?v=MNhhx6my_zY
28. ADRV9008-1/ADRV9008-2/ADRV9009 Profile Configuration Tool User Guide - Manuals.plus, 9월 15, 2025에 액세스,
<https://manuals.plus/m/d40f34b7edb0746ddc1184c90d5236a97ede2db928efab6da893a1f3c7423edd.pdf>
29. ADI Radioverse ADRV9002 Evaluation System Demo Tutorial: N/B to W/B Integrated RF Transceiver - YouTube, 9월 15, 2025에 액세스,
<https://www.youtube.com/watch?v=NEiatr8GarA>
30. TES User Guide ADRV9004 Parameter Descriptions - EngineerZone - Analog Devices, 9월 15, 2025에 액세스,
<https://ez.analog.com/rf/wide-band-rf-transceivers/tes-gui-software-support-adrv9001-adrv9007/f/q-a/592429/tes-user-guide-adrv9004-parameter-description>
31. Digital Pre-Distortion - Documents - TES GUI & Software Support ..., 9월 15, 2025에 액세스,
<https://ez.analog.com/wide-band-rf-transceivers/tes-gui-software-support-adrv9001-adrv9007/w/documents/15829/digital-pre-distortion>
32. ADRV9001 Automated TDD Tutorial - YouTube, 9월 15, 2025에 액세스,
https://www.youtube.com/watch?v=huuFF5c_hOY
33. The Next-Gen Software-Defined Radio (SDR) Transceiver Delivers Big Advances in Frequency Hopping (FH) | Analog Devices, 9월 15, 2025에 액세스,
<https://www.analog.com/en/resources/analog-dialogue/articles/the-next-gen-software-defined-radio-sdr-transceiver-delivering-big-advances-in-frequency-hopping-fh.html>
34. libadv9002-iiio v0.2.0 - GitHub Pages, 9월 15, 2025에 액세스,
https://analogdevicesinc.github.io/libadv9002-iiio/v0_2_0/v68_10_1/index.html
35. EngineerZone, 9월 15, 2025에 액세스, <https://ez.analog.com/>
36. New ADI EngineerZone DSP Support Forum - DSPRelated.com, 9월 15, 2025에 액세스, <https://www.dsprelated.com/showthread/adsp/6554-1.php>