

# 차량용 및 산업용 기능적 안전성 인증 간소화

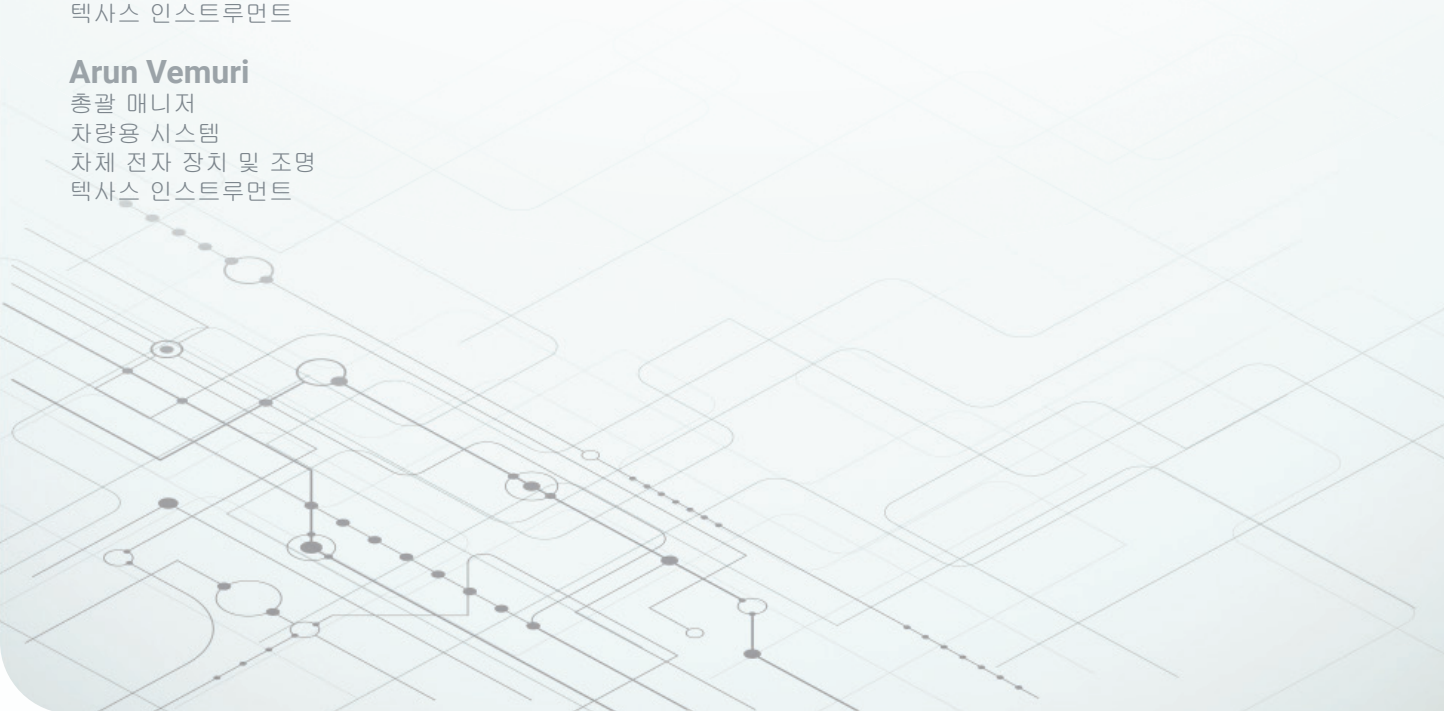


## Miro Adzan

총괄 매니저  
산업용 시스템  
공장 자동화 및 제어  
텍사스 인스트루먼트

## Arun Vemuri

총괄 매니저  
차량용 시스템  
차체 전자 장치 및 조명  
텍사스 인스트루먼트



# 기능적 안전성 설계를 제대로 하려면 엄격한 기준, 문서화, 시간이 필요합니다. 여러분이 공장 현장을 설계하든 고속도로를 설계하든, 이 백서에서 **TI의 IC** (통합 회로) 설계 방식으로 어떻게 기능적 안전성 설계의 효율을 높이는지 확인하실 수 있을 것입니다.

---

자동화로 인해 산업 부문과 자동차 부문 모두에서 기능적 안전성이 더욱 더 필요하게 되었습니다. 기능적 안전성은 산업용 분야 전체, 특히 공장 자동화와 제어 시스템에 꼭 필요합니다.

자동차 산업에서는 이미 수년 전부터 에어백과 브레이크 시스템에 기능적 안전성이 요구되었지만, 전기 자동차와 자율 주행 기능이 늘어남에 따라 배터리 관리, 센서 퓨전, 차량 조종을 제어하는 시스템이 필요하게 되어 기능적 안전성을 갖춘 설계의 필요성이 커졌습니다.

공장용 로봇 시스템이든 가정용 가전 제품이든 미래의 자동차이든 무엇을 설계하더라도 설계 엔지니어는 점점 더 각 분야에 관련된 기능적 안전성 표준을 준수하는 프로젝트를 진행해야 하는 환경이 되고 있습니다.

표준 규정을 준수할 필요가 없는 분야에서는 더 안전한 시스템을 설계하는 것이 경쟁 업체와의 큰 차별화 요소가 되고 있습니다.

## 기능적 안전성 표준

기능적 안전성은 시스템의 전체 안전성 중 한 부분을 차지하는 것으로, 이는 특정 입력이나 장애 상태에 예측 가능한 방식으로 응답할 수 있는가에 달려 있습니다. 기능적 안전성 표준은 언제나 위험은 존재하며 모든 시스템은 고유한 장애율을 가지고 있다는 것을 인정하는 것에서 시작합니다.

기능적 안전성 표준은 허용 가능한 수준으로 위험을 줄일 수 있도록 시스템을 개발하는 방법을 지정하고 있습니다. 기능적 안전성을 고려한 시스템 설계는 부적절한 작동으로 인한 위험을 낮출 뿐만 아니라 장애를 감지하고 그 영향을 최소화해야 합니다.

기능적 안전성 규정을 준수하려면 엔지니어는 다음을 해야 합니다.

- 위험 상태를 예측하고 정의합니다.
- 이러한 상태를 해결하는 안전 기능을 파악합니다.
- 안전 기능이 위험을 얼마나 낮추는지 평가합니다.
- 안전 기능이 설계한 의도대로 작동하는지 확인합니다.

업계의 관련 기업이 참여하여 표준 기관에서 정의한 기능적 안전성 표준은 시스템의 안전 기능을 정의하고 안전 수준을 평가하며 등급을 매길 수 있도록

록 사양을 정립하여 설계자에게 방향을 제시합니다. TI(텍사스 인스트루먼트) 역시 표준 기관에 참여하여 처음부터 기능적 안전성을 염두에 두고 제품을 개발할 수 있도록 했습니다.

일반적인 안전 표준으로는 산업 분야를 위한 IEC(국제 전기 표준 회의) 61508, 자동차 분야를 위한 ISO(국제 표준화 기구) 26262, 가전 제품을 위한 IEC 60730 등이 있습니다.

안전 표준들은 공통적으로 위험 감소와 안전 무결성 수준(SIL: Safety Integrity Level)을 가지고 있습니다. 예를 들어 IEC 61508에서 정의한 SIL은 SIL 1에서 SIL 4까지 있으며, SIL 4가 가장 엄격한 것입니다. SIL 1은 90%~99%의 안전 가용성과 0.1~0.01의 PFDavg(평균 장애 발생 확률), 10~100의 RRF(위험 감소 비율)를 요구합니다. SIL 4는 99.99%를 초과하는 안전 가용성, 0.0001~0.00001의 PFDavg, 10,000~100,000의 RRF를 요구합니다.

ISO 26262도 비슷한 SIL이 있습니다. ASIL A에서 ASIL D까지 있고 ASIL D가 가장 엄격합니다.

### 기능적 안전성 프로세스

일반적인 기능적 안전성 개발 프로세스는 위험과 기능적 안전성 목표를 결정하는 것으로 시작됩니다. 보통 그런 다음 엔지니어가 시스템 아키텍처, 모듈, IC를 점검하기 시작합니다. 여기서 기능 안전 표준을 준수하는 시스템이 되기 위해 가장 중요한 구성 요소는 IC입니다.

시스템 동작을 예측하려면 엔지니어가 모듈의 작동을 정량화하고 예측해야 합니다. 이를 위해서는 엔지니어가 개발 프로세스를 진행하는 동안 시스템에 대한 구조적이고 정성적인 안전 분석을 수행하여 다양한 장애 모드, 그리고 그 원인과 영향을 파악해야 합니다.

엔지니어가 자체 FMEDA(장애 모드, 영향과 진단 분석)를 하기 위해 IC에 대해 알아야 할 정보는 기능적 안전성 표준에 정의되어 있습니다. IC의 복잡한 정도에 따라 다르지만 시스템 안전 분석을 위해 설계, 다이(die), 패키지별 정보가 필요한 경우가 있습니다.

이를 위해서는 신뢰할 수 있는 공급업체의 적합한 제품을 선택하는 것이 아주 중요합니다. 기능적 안전성 표준을 따르기 위한 설계이든 경쟁적으로 차별화된 안전한 시스템을 만들기 위한 설계이든, TI는 엔지니어가 더 쉽게 제품을 찾고 사용할 수 있도록 돕고 있습니다.

### 기능적 안전성 카테고리를 사용한 간단한 디바이스 선택

보통 산업 및 자동차 분야에는 다수의 IC가 필요하며 그 복잡한 정도는 각각 다릅니다. IC의 예를 들어보면 다양한 센서와 액추에이터, 센서에서 들어오는 데이터를 처리하는 MCU(마이크로컨트롤러)나 프로세서, 아날로그 멀티플렉서, 연산 증폭기나 계측 증폭기, 프로세서와 통합되어 있거나 그렇지 않은 ADC(아날로그-디지털 변환기)와 DAC(디지털-아날로그 변환기), DC/DC 컨버터, 저손실 레귤레이터나 PMIC(전력 관리 IC)는 물론 LED 드라이버, 모터 드라이버, 솔레노이드 드라이버와 같은 드라이버 구성 요소, FET(전계 효과 트랜지스터), 절연 게이트 양극 트랜지스터 게이트 드라이버, 전원 스위치, 부하 스위치 등이 있습니다. 그리고 활용 분야에는 RS-485, CAN(컨트롤러 영역 네트워크), 이더넷, FPD-Link, PCIe(주변 기기 구성 요소 상호 연결 익스프레스)와 같은 통신 인터페이스도 있습니다.

다음 장의 표 1은 기능적 안전성 설계용으로 제공되는 TI 제품의 카테고리로, 표준적인 IC 복잡성 카테고리의 배경이 되는 논리를 반영한 것입니다. 카테고리에는 TI 기능적 안전성 가능, TI 기능적 안전성 품질 관리, TI 기능적 안전성 준수가 있습니다.

### 기능적 안전성 준수 제품

이러한 제품은 MCU, 프로세서 또는 아날로그 모터 드라이버와 같이 자체적으로 하나의 시스템이 될 수 있을 정도로 복잡한 경우가 많으며, 보통 안전 기능이 통합되어 있습니다.

TI는 TÜV(Technischer Überwachungsverein) SÜD와 같은 기관에서 인증한 기능적 안전성 개발 플로우를 사용하여 이러한 제품을 개발합니다. 이 인증

		기능적 안전성 가능	기능적 안전성 품질 관리	기능적 안전성 준수
개발 프로세스	TI 품질 관리 프로세스	☑	☑	☑
	TI 기능적 안전성 프로세스			☑
분석 보고서	기능적 안전성 FIT 비율 계산	☑	☑	☑
	FMD(장애 모드 분포) 또는 핀 FMA**	☑	FMEDA에 포함	FMEDA에 포함
	FMEDA		☑	☑
	FTA(장애-트리 분석)**			☑
진단 설명	기능적 안전성 설명서		☑	☑
인증	기능적 안전성 제품 인증서***			☑

표 1. 기능적 안전성 설계에서 TI의 제품 카테고리.

\*\*아날로그 전원 및 시그널 체인 제품에만 사용할 수 있습니다.

\*\*\*특정 제품에 사용 가능합니다.

은 이 카테고리의 제품을 기능적 안전성 표준 ISO 26262와 IEC 61508에 규정된 사양에 따라 개발하는 데 도움이 됩니다.

다음과 같은 복잡한 기능적 안전성 준수 장치의 예를 알아보겠습니다.

- 고정 및 부동 소수점 TMS320C66x DSP (디지털 신호 프로세서) 세대 코어가 통합된, 첨단 운전자 지원 시스템을 위한 AEC (자동차 전자부품 협의회)-100 공인 [Jacinto™ TDAx](#) 시스템온칩, Vision AccelerationPac01 내장된 비전 엔진 및 듀얼 ARM® Cortex®-M4 프로세서, 저전압 차동 신호 기반의 서라운드 뷰 시스템, 디스플레이, CAN, 기가비트 이더넷 오디오 비디오 브리징을 위한 멀티카메라 인터페이스와 같은 주변 장치. 이러한 장치는 기능적 안전성 시스템에 필요한 다양한 요건을 지원합니다. 이러한 요건으로는 ECC(오류 수정 코드) 보호 M4, ECC 보호 32비트 DDR(두 배 데이터 속도) 인터페이스, 각 CPU(중앙 처리 장치) 전용의 메모리 관리 장치, 메모리 보호 장치, 온도 모니터링 센서, 시스템 모니터링을 위한 8채널 ADC 등이 있습니다.

- [TPS6594-Q1](#) 다중 회로 전력 관리 집적회로 (PMIC)는 TI의 차량용 및 산업용 [Jacinto TDAx](#) SoC를 지원한다. 이 정밀하고 유연한 PMIC는 기능적 안전성이 요구되는 차량용 및 산업용 애플리케이션에 적합하며, 기능적 안전성 설명서가 함께 제공된다. TPS6594-Q1은 메인 도메인과 MCU 도메인 모두에 대해 확장 가능한 전력 관리 솔루션을 제공하며, 최대 ASIL-D/SIL-3 등급의 기능적 안전성을 지원한다.
- [Hercules™ MCU](#)는 엔지니어가 최대 SIL 3을 목표로 할 수 있을 정도의 충분한 안전 기능과 진단 기능을 갖추고 있습니다. 이는 MCU가 약 99%의 장애 검출 비율을 달성할 수 있음을 의미합니다. 예를 들어 MCU의 락스텝에 두 Cortex-R CPU를 통합하면, 모든 사이클마다 출력을 비교하고 오류가 발생할 경우 마스크 불가능 인터럽트를 생성할 수 있습니다. CPU 자가 테스트는 산업용 애플리케이션을 시작할 때나 시분할 방식으로 실행할 수 있습니다.
- [DRV3245E-Q1](#)은 3상 모터-드라이브 애플리케이션을 위한 FET 게이트 드라이버 IC입니다. 이 세 개의 하프 브리지 드라이버는

각각 고압측과 저압측 N-채널 금속 산화막 반도체 FET를 구동할 수 있습니다. ISO 26262의 해당하는 요구 사항에 맞게 설계된 이 게이트 드라이버에는 각 내부 블록을 위한 진단과 보호 기능이 통합되어 있고, 공통 시스템 진단 점검을 지원하며, 각 드라이버는 직렬 주변 인터페이스를 통해 인스턴스화하고 보고할 수 있습니다. 이렇게 기능의 유연성을 갖추고 있어 DRV3245E-Q1을 많은 안전 아키텍처에 원활하게 통합할 수 있습니다.

- [TPS65381A-Q1](#) 다중 회로 PMIC는 듀얼 코어 록스텝 또는 느슨하게 결합된 아키텍처로 차량용 및 산업용 TI Hercules TMS570 및 C2000™ MCU 제품군을 지원한다. 내부 FET가 장착된 비동기형 벅 스위치 모드 전원 공급 컨버터는 입력 공급(배터리) 전압을 6-V 사전 레귤레이터 출력으로 변환한다. 그런 다음 6-V 사전 레귤레이터는 다른 레귤레이터에 전원을 공급한다. 이 디바이스의 모니터링 및 보호 블록에는 전압 모니터, 아날로그 내장 자가 테스트, 클록 손실 모니터, 접속 온도 모니터링, 전원 공급 장치 전류 제한 기능 및 MCU 오류 신호 모니터가 포함되어, 진단 범위를 향상시키고, 고장률을 미연에 감소시킨다.
- TI는 이 밖에도 이 카테고리에 해당하는 많은 장치를 제공합니다. 예를 들어 [C2000™](#) 실시간 컨트롤러, 그리고 온보드 DSP와 MCU, 레이더 가속기가 내장된 [AWR1843](#) 76GHz~81GHz 차량용 레이더 센서 등이 있습니다. 이러한 모든 제품은 시스템 개발 프로세스를 지원하기 위해 다음과 같은 각 제품 전용의 기능적 안전성 관련 문서가 함께 제공됩니다.
  - 기능적 안전성 FIT(장애 비율) 계산.
  - FMD(장애 모드 분포).
  - FMEDA.
  - 장애-트리 분석.

- IC의 안전 기능과 특정 장애 검출 및 진단 비율을 달성하기 위해 외부 구성 요소를 사용하는 방법을 설명하는 기능적 안전성 설명서.
- 기능적 안전성 제품 인증서.

## 기능적 안전성 품질 관리 제품

이 두 번째 제품 카테고리는 내부에 진단 기능이 있고 기능적 안전성이 요구되는 시스템을 위해 특별히 설계된 복잡한 제품으로 구성됩니다. 그러나 이 카테고리의 제품은 기능적 안전성 준수 제품 카테고리에 사용되는 인증된 기능적 안전성 개발 플로우에 따라 개발되지 않고, TI의 표준 품질 관리 개발 플로우를 사용하여 개발됩니다.

이 카테고리 제품들의 사례는 다음을 포함한다.

- [TCAN4550-Q1](#)은 CAN FD 컨트롤러와 트랜스시버가 통합된 차량용 SBC다. 이 고도로 통합된 장치는 기존 SPI 포트를 활용해 CAN FD 버스 확장을 간소화해, 설계자가 더 높은 대역폭의 CAN FD 인터페이스 프로토콜로 업그레이드할 때 현재의 마이크로컨트롤러 기반 아키텍처를 유지할 수 있도록 한다.
- [LP87702-Q1](#)은 ASIL 표준을 준수하는 mmWave 레이더 시스템에 설계 시 필요한 통합 진단 기능을 갖춘 듀얼 벅 컨버터 및 5-V 부스트로서, 자체 출력 공급을 모니터링하는 WWDG(window watchdog)와 독립 전압 레퍼런스, 그리고 2개의 외부 전원 공급 장치를 포함한다.

기능적 안전성 준수 장치와 마찬가지로 TI는 기능적 안전성 시스템 설계에 도움이 되는 다양한 문서들을 제공합니다. 이러한 문서로는 FIT(장애 비율) 계산, FMEDA와 기능적 안전성 설명서가 있지만, 기능적 안전성 준수 장치와는 달리 장애-트리 분석이나 제품 인증서는 제공되지 않습니다.

## 기능적 안전성 가능 제품

이 세 번째 제품 카테고리는 기능적 안전성 품질 관리 제품 카테고리와 유사한 TI의 표준 품질 관리

개발 플로우를 사용하여 개발된 더 간단한 IC로 구성됩니다.

기능적 안전성 가능 제품에는 안전 기능이 통합되어 있지 않은 경우가 많기 때문에, TI의 다른 기능적 안전성 제품 카테고리의 장치에 있는 내부 모니터링 기능과 진단 기능을 가지고 있지 않습니다.

제품에 종합적인 안전 기능이 통합되어 있지 않기 때문에 다른 카테고리의 장치에 공통적으로 있는 내부 모니터링 기능과 진단 기능이 없습니다.

하지만 이러한 제품 역시 기능적 안전성 시스템의 중요한 구성 요소입니다. 따라서 TI는 설계자가 안전 분석에 사용할 수 있도록 기능적 안전성 FIT 비율, FMD와 같은 핵심 정보를 제공합니다.

이 카테고리의 제품들은 다음을 포함한다.

- 업계에서 가장 작은 선형 서미스터 [TMP61-Q1](#)은 기존 서미스터에 비해 1% 이하의 장기 센서 드리프트와 정확도 혜택을 제공합니다. 서미스터의 대안으로서 [TMP235-Q1](#)은 보정 없이 ±1.5°C의 정확도를 달성하는 정밀 온도 센서 IC입니다.

- [TPS3840-Q1](#) 전압 통제기 또는 리셋 IC. 이 AEC-Q100 인증 장치는 1.5V~10V의 넓은 전압 범위에서 작동할 수 있으며, 공급 전류는 일반 350nA, 최대 700nA에 불과합니다.
- 아주 낮은 정동작 전류가 중요한 지속적 또는 산발적(전력 백업) 배터리 전원 애플리케이션용으로 설계된 [TPS7A16A-Q1](#) AEC-Q100 인증, 60V, 5µA 대기 전류 100mA 저손실 전압 레귤레이터. 이 장치는 전지 수가 많은 전동 공구 팩에서 차량용 애플리케이션까지 여러 다중 셀 솔루션에서 저전압 공급을 생성하는 데 적합합니다. TPS7A16A-Q1은 잘 레귤레이션된 전압 레일을 공급할 수 있을 뿐만 아니라 전압 과도가 발생했을 때도 이를 견디고 레귤레이션 상태를 유지할 수 있습니다.

## TI의 개발 프로세스

기능적 안전성 개발이 복잡하기 때문에 회사의 안전 문화와 프로세스에 대해 TÜV SÜD 인증보다 더 많은 정보가 필요할 수 있습니다. 그래서 TI는 체계적 원인에 따른 장애와 무작위로 발생하는 장애

평가	계획	제작	검증	유지 및 수명 종료
기능적 안전성 프로세스 실행이 필요한지 판단	구성 요소 대상 SIL/ASIL 수준 정의	구성 요소 수준의 기능적 안전성 요구 사항 개발	SiLicon에서 기능적 안전성 설계 검증	보고된 모든 문제 문서화 (필요한 경우)
기능적 안전성 관리자 지명	기능적 안전성 계획 수립	설계 사양에 기능적 안전성 요구 사항 넣기	기능적 안전성 설계의 특성 강화	유지 보수 작업에 대한 사고 보고 수행(필요한 경우)
감사 단계 종료	기능적 안전성 사례 검증	설계 사양 검증	기능적 안전성 설계의 적합성 파악(AEC-Q100 기준)	작업 제품 업데이트 (필요한 경우)
	기능적 안전성 사례 시작	기능적 안전성 설계 시작	기능적 안전성 사례 마무리	
	대상 애플리케이션을 분석하여 시스템 수준의 기능적 안전성 가정 만들기	설계의 정성적 분석 수행(예: 장애 모드 분석)	프로젝트의 평가 수행	
	감사 단계 종료	정성 분석 검증	기능적 안전성 설명서 출시	
		기능적 안전성 설계 검증	기능적 안전성 분석 보고서 출시	
		설계의 정량적 분석 수행(예: FMECA)	기능적 안전성 보고서 출시	
		정량적 분석 검증	감사 단계 종료	
		필요한 경우 기능적 안전성 설계 반복		
		감사 단계 종료		

표 2. TI의 표준 개발 프로세스 위에 겹쳐서 표시한 기능적 안전성 활동.



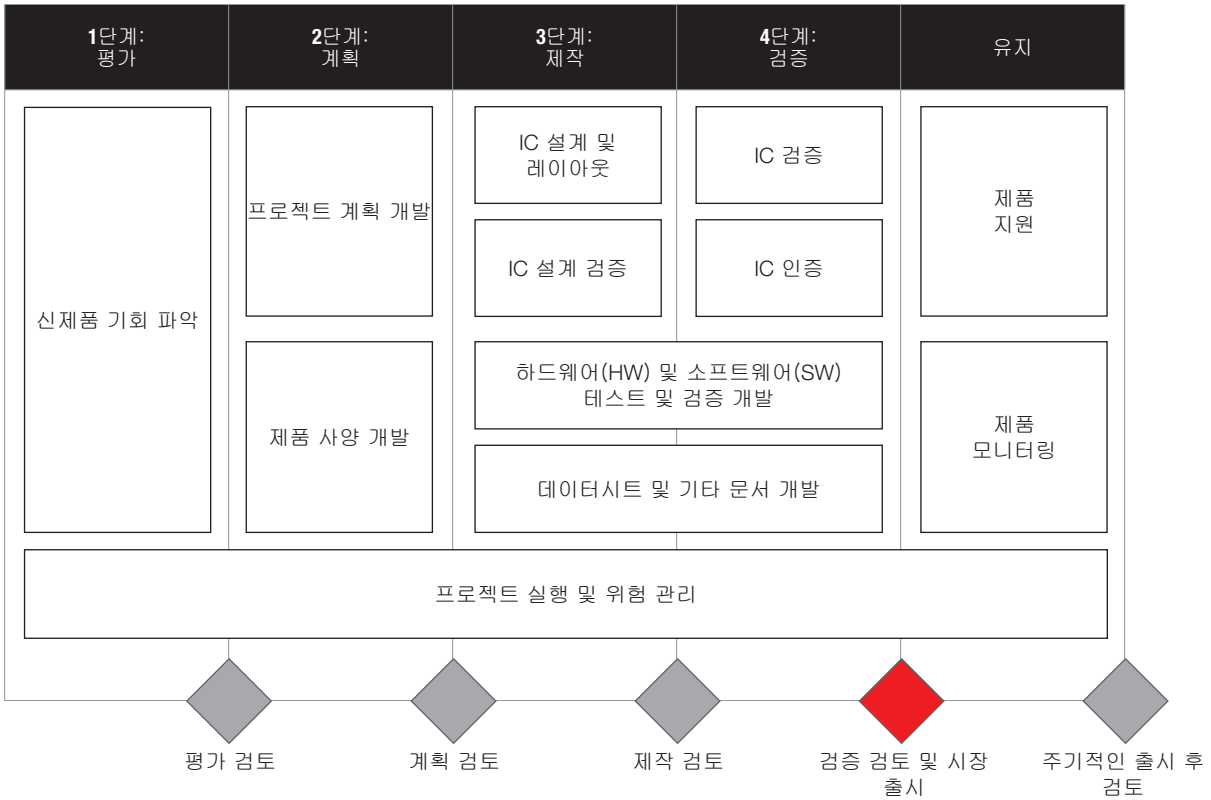


그림 1. 추가적인 기능적 안전성 활동을 위에 겹쳐서 표시할 수 있는 표준 품질 관리 개발 프로세스.

모두를 관리하기 위한 개발 프로세스(표 2 참조)를 만들었습니다.

우리는 체계적 장애 가능성을 줄이기 위해 모든 제품을 제작할 때 품질 관리형 개발 프로세스를 따릅니다. 이 표준 개발 프로세스는 다음 장의 그림 1과 같이 체계적 장애를 관리하는 데 필요한 많은 요소를 갖추고 있습니다. 뿐만 아니라, 이러한 제품에 대한 문서와 보고서는 ISO 26262-4 또는 IEC 61508-2와 같은 차량용 시스템과 산업용 시스템을 비롯한 다양한 최종 애플리케이션 표준을 준수하도록 지원하는 데에도 사용할 수 있습니다.

이 프로세스는 개발 단계를 다음과 같이 나눕니다.

- 평가.
- 계획.
- 제작.
- 검증.

TI의 기능적 안전성 개발 플로우는 ISO 26262 및 IEC 61508에서 파생된 것입니다. TI의 표준 신제품 개발 프로세스의 각 단계에 몇 가지 기능적 안전성 관련 활동을 추가하여, 이에 따라 세 가지 표준 IC 복잡성 카테고리를 개발했습니다.

ISO 26262-2:2018의 부록 A에 명시된 바와 같이, TI의 개발 프로세스는 기능적 안전성의 효과적인 달성을 지원하고 장려합니다. 개발 프로세스는 제품 개발에 참여하는 모든 팀이 기능적 안전성에 관련된 정보를 서로 교환하도록 유도합니다.

TI 팀은 적절한 표준을 준수하여 기능적 안전성을 위한 조직의 규칙을 유지하며, TI의 프로세스를 따라 확인된 안전 이상 현상을 해결합니다. TI는 산업 표준을 준수함으로써 기능적 안전성을 갖춘 품질 관리 시스템을 유지하여 고객을 지원합니다.

## 늘어나는 기능적 안전성 포트폴리오

기능적 안전성 설계는 개념 단계부터 위험, 장애, 완화를 위한 계획에 중심을 둡니다. 여기에는 시스템에 장애가 있는지, 시행된 진단 구조가 효과적인지 평가하는 표준 준수 분석 과정이 있습니다. 이 과정은 시스템 제작에 사용되는 모든 제품에 대한 데이터를 중심으로 진행됩니다.

TI는 관련 제품을 계속해서 개발하고, 이러한 제품에 대해 필요한 모든 데이터와 문서를 기능적 안전성 애플리케이션에서 사용할 수 있도록 하여 고객의 이러한 요구 사항을 해결하고 있습니다.

### [TI 기능적 안전성 기술에 대해 자세히 알아보기](#)

## 참고자료

- 비디오: [기능적 안전성과 ADC의 시스템 수준의 결함 이해하기](#)
- 비디오 시리즈: [C2000™ MCU의 기능적 안전성](#)
- 비디오 시리즈: [TI의 기능 안전](#)
- 기술백서: [전기차 및 자율주행차의 기능적 안전성을 위한 액추에이터 디자인 트렌드](#)
- 기술백서: [오토모티브 설계 시 Jacinto™ 7 프로세서의 기능적 안전성 활용하기](#)
- 기술백서: [C2000™ MCU SafeTI™ 관리 솔루션: ASIL 분해 및 SIL 합성](#)

알림: 이 문서에 기술된 텍사스 인스트루먼트의 제품과 서비스는 TI의 판매 표준 약관에 의거하여 판매됩니다. TI 제품과 서비스에 대한 최신 정보를 완전히 숙지하신 후 제품을 주문해 주시기 바랍니다. TI는 애플리케이션 지원, 고객의 애플리케이션 또는 제품 설계, 소프트웨어 성능 또는 특허권 침해에 대해 책임을 지지 않습니다. 다른 모든 회사의 제품 또는 서비스에 관한 정보의 출판물은 TI가 승인, 보증 또는 동의한 것으로 간주되지 않습니다.

C2000, Hercules, Jacinto 및 SafeTI는 텍사스 인스트루먼트의 상표입니다. 그 외 다른 상표는 각 소유주의 재산입니다.



## IMPORTANT NOTICE AND DISCLAIMER

TI PROVIDES TECHNICAL AND RELIABILITY DATA (INCLUDING DATASHEETS), DESIGN RESOURCES (INCLUDING REFERENCE DESIGNS), APPLICATION OR OTHER DESIGN ADVICE, WEB TOOLS, SAFETY INFORMATION, AND OTHER RESOURCES "AS IS" AND WITH ALL FAULTS, AND DISCLAIMS ALL WARRANTIES, EXPRESS AND IMPLIED, INCLUDING WITHOUT LIMITATION ANY IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY, FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE OR NON-INFRINGEMENT OF THIRD PARTY INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS.

These resources are intended for skilled developers designing with TI products. You are solely responsible for (1) selecting the appropriate TI products for your application, (2) designing, validating and testing your application, and (3) ensuring your application meets applicable standards, and any other safety, security, or other requirements. These resources are subject to change without notice. TI grants you permission to use these resources only for development of an application that uses the TI products described in the resource. Other reproduction and display of these resources is prohibited. No license is granted to any other TI intellectual property right or to any third party intellectual property right. TI disclaims responsibility for, and you will fully indemnify TI and its representatives against, any claims, damages, costs, losses, and liabilities arising out of your use of these resources.

TI's products are provided subject to TI's Terms of Sale (<https://www.ti.com/legal/termsofsale.html>) or other applicable terms available either on [ti.com](https://www.ti.com) or provided in conjunction with such TI products. TI's provision of these resources does not expand or otherwise alter TI's applicable warranties or warranty disclaimers for TI products.

Mailing Address: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265  
Copyright © 2021, Texas Instruments Incorporated