

# 제품 번인 테스트 서비스

앰코테크놀로지 테스트 기술, WW 테스트 서비스팀, Vineet Pancholi

## 도입

제품 번인(BI)은 고객에게 고품질의 우수한 제품을 제공하기 위해 테스트 생산 과정에서 필수적인 단계입니다. 앰코는 기업 주요 가치 중의 하나인 '고객 만족 품질'에 높은 자부심을 가지고 있습니다. (표 1 참조)

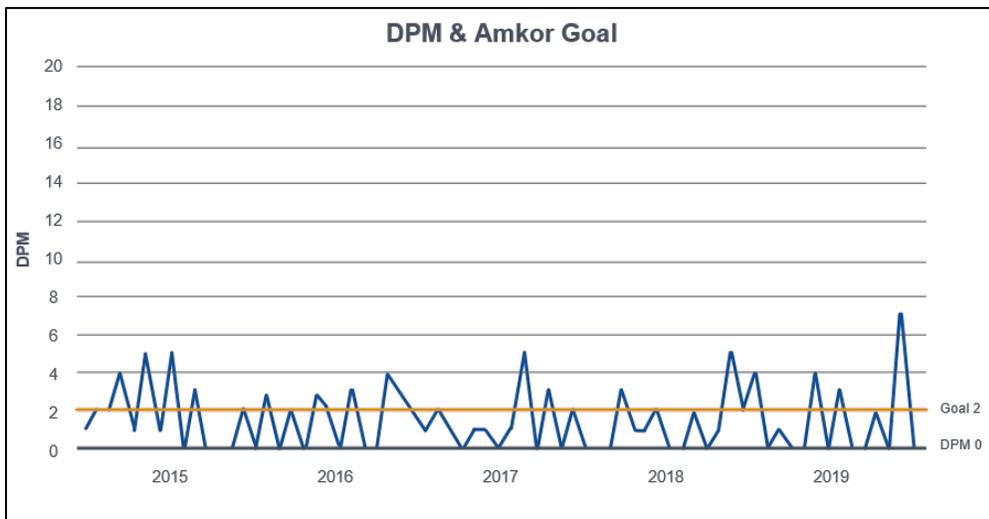


표 1: DPM(Defects per Million) 및 5 년간의 DPM 목표치

번인 테스트가 진행된 집적회로(IC)는 그렇지 않은 IC 보다 Life time 내 불량률이 훨씬 낮습니다. 따라서, 번인 테스트 장비를 사용한 테스트 서비스는 고객 선택사항으로 제공되어야 합니다.

## 신뢰성 불량률(Reliability Bathtub Curve)과 번인의 영향

연구자들은 신뢰성 불량률이 표 2 의 A 단계처럼 높게 시작했다가 결국 B 단계처럼 지속적인 수준으로 떨어진다는 것을 증명했습니다. 제조업체는 고객에게 선적 전, 초기 불량을 번인을 통해 제거하게 됩니다. IC 에 높은 전압과 온도를 포함한 가속 수명 테스트 조건을 적용함으로써 초기 불량률이 걸러집니다. 초기 불량 제거로 불량률이

감소하기는 하지만 완전히 제거되지는 않습니다 [1]. 제품 번인을 아무리 많이 해도 모든 문제를 완전히 제거할 수는 없습니다. 유효 제품 수명(B 단계)의 고장은 무작위로 발생하며, 체계적인 제조 또는 설계 관련 불량으로 역추적될 수 없습니다.

유효 수명이 다하면 고장률이 다시 증가합니다. 이러한 고장률의 증가(C 단계)는 산화물 마모, 일렉트로마이그레이션, 시간 종속 유전체 분해 등의 영향에서 기인합니다 [2].

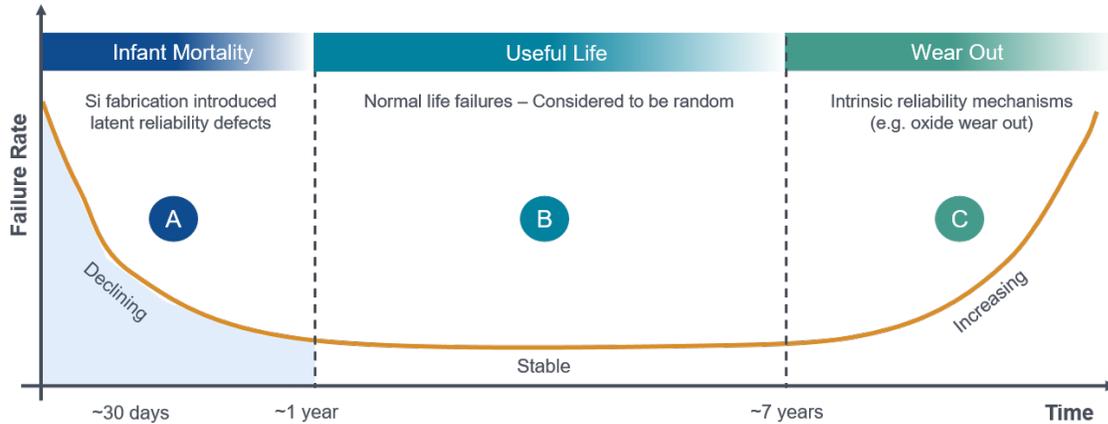


표 2: 결함 발생률 곡선

잠재적 결함은 결함의 원인을 가속하는 스트레스 (번인) 조건을 적용하여 선별됩니다. 다음은 측정 시간 대비 불량에 대한 열 가속 계수 계산에 사용되는 신뢰성에 대한 아레니우스 방정식입니다.

$$\text{방정식 1: } A_T = e^{\left[\left(-\frac{E_{aa}}{k}\right)\left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right)\right]}$$

이 방정식에서  $A_T$ 는 온도 변화에 따른 가속도 요인,  $E_{aa}$ 는 활성화 에너지(eV),  $k$ 는 볼츠만 상수( $8.62 \times 10^{-5}$  eV/K),  $T_1$ 는 절대 테스트 온도(K),  $T_2$ 는 절대 시스템 온도(K)입니다. 이 방정식은 품질 및 신뢰성 엔지니어링 팀이 특정 실리콘 제조 기술, 제품 설계 및 초기 파손율(IM) 목표를 번인 전압, 번인 온도 및 번인 시간의 측면에서 계산하고 모델링하는 데 유용합니다. 번인 전압은 일반 응용제품의 사용 전압보다 약 30% 더 높고, 번인 온도는 일반적으로  $95^{\circ}\text{C} \sim 105^{\circ}\text{C}$ 입니다. 이러한 값에 따라 번인 시간(BIT)이 몇 초에서 몇 분, 또는 다이 크기에 따라서는 몇 시간까지 소요될 수 있습니다.

번인은 일반적으로 프로브 및 소우된 웨이퍼 다이의 어셈블리 후 테스트 공정 첫번째 단계입니다. 패키지 부품의 번인은 고객 디바이스에서 수요가 높지만, 웨이퍼-레벨 번인은 향후에 모바일 및 핸드 헬드 최종 애플리케이션을 목표로 하는 일부 제품에서 중요해질 수 있습니다.

번인의 이점은 디지털, 아날로그 및 RF IC 거의 모든 제조 기술에 유사하게 적용됩니다. 일부 IDM 업체는 차량용, 산업용 및 상업용 디지털 로직, 아날로그 및 RF 최종 애플리케이션이 포함된 IC 에 대한 번인 테스트 서비스를 요청합니다. 메모리 제품의 번인 테스트 솔루션은 복합적인 로직 제품에 대한 로직 테스트 솔루션과 더불어 데이터 보존에 초점을 맞추고 있습니다. IC 설계자들은 최대 토글 커버리지를 보장하기 위해 테스트 항목(패턴)을 설계합니다. Boundary 스캔, 구조 기반 기능 테스트(SBFT) 및 빌트인 셀프 테스트(BIST) 패턴에는 제한된 제품 테스터 리소스(시그널 및 클록)가 필요합니다. 그러나 높은 전압 요구사항으로 인해 각 기기 전압 레일의 전원 공급 장치 및 경로가 매우 중요합니다.

공정 최적화를 통해 초기 불량률 및 불량 시그니처가 잘 알려지거나 공정 최적화로 제거된 일부 프로세스 기술은 샘플 번인 모니터링 및 생산 테스트 공정 플로우에서 번인을 완전히 삭제하는 데 도움이 될 수 있습니다. 서로 다른 프로세스 기술 및 로직 유형을 사용하는 멀티 다이 패키지는 품질 목표 달성을 위해 정교한 번인 테스트 절차가 필요합니다.



표 3: 번인 측정:  $V_{min}$  Degradation

번인 스트레스의 영향은 표 3 과 같이 웨이퍼 정렬과 동일 기기의 파이널 테스트 간의  $V_{min}$  Degradation 으로 측정됩니다.

## 번인 테스트 장비

번인 테스트 장비에는 테스트 대상 디바이스(DUT)에 효과적인 번인 환경을 조성하는 데 필수적인 몇 가지 핵심 functional 블록이 있습니다. 전통적으로 파이널 테스트에

비해 테스트 항목이 제한적이기 때문에, 설계업체의 테스트 장비는 대규모 병렬 디바이스 테스트 플랫폼에 적합합니다. 일반적인 테스트 플랫폼에는 1-6 개의 영역이 있습니다. 각 영역에는 12-18 개의 슬롯이 있으며, 각 슬롯은 8 개에서 수백 개의 유닛을 동시에 번인할 수 있습니다. 이 자료에서는 자동화된 DUT 및 번인 보드(BIB) 핸들링을 포함하는 플랫폼에 대해 설명하지만, 이러한 기능이 자동화되지 않은 번인 플랫폼도 있습니다. 이런 경우 DUT 및 BIB 의 로딩/언로딩은 수동으로 진행됩니다. Zone 이 있는 슬롯 또는 슬롯 자체의 병행 및 병렬 처리는 최종 애플리케이션(메모리 또는 로직, 패키지 및 열 제약 등) 및 사용자 맞춤 애플리케이션 시장에 대한 공급업체의 장비 설계에 따라 달라집니다.

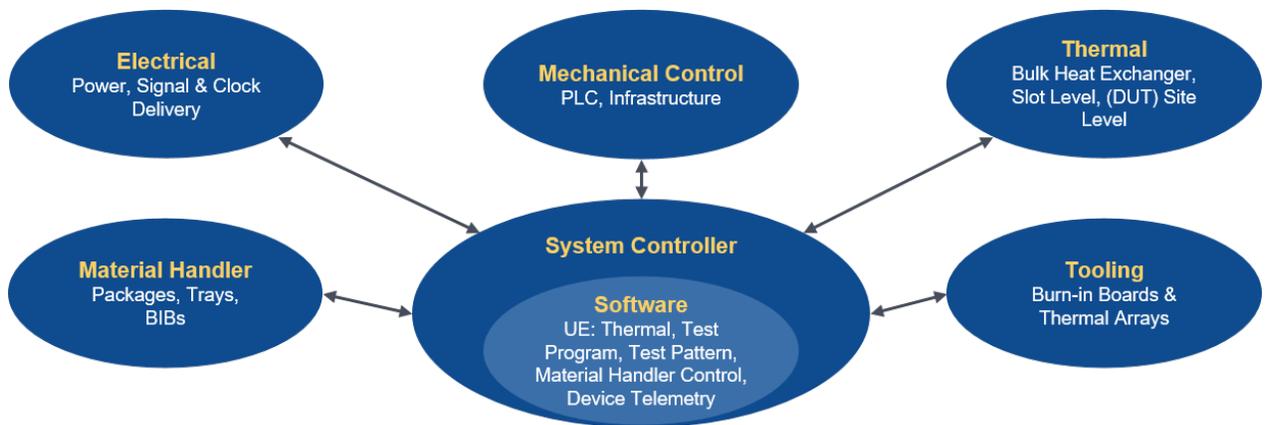


표 4: 패키지 번인 테스트 플랫폼 functional 블록

**소프트웨어 하위체제:** 번인 테스트 플랫폼은 소프트웨어가 플랫폼의 개별 하위 블록을 제어하는 시스템 컨트롤러를 통해 제어됩니다. 테스트 컨트롤러는 스트레스 조건 하에서 DUT 를 테스트하는 테스트 프로그램이나 테스트 레시피로 시스템의 모든 기능을 제어하는 독점 테스터 운영 체제(TOS, Tester Operating System) 소프트웨어를 실행합니다. 핸들러 레시피는 JEDEC 트레이의 DUT 를 BIB 에 로딩(또는 언로딩)하고, 다음 구역 내의 지정된 슬롯에 BIB 를 로딩(또는 언로딩) 하게 할 수 있습니다. 테스트 프로그램에는 전기적 하드웨어에 지정된 순서에 따라 장치 전원 공급 레일을 켜거나 끄도록 지시하여 DUT 에 번인 전압을 적용하고, DUT 를 번인 온도로 가열 또는 부품을 테스트 및 열을 발생시켜 원하는 번인 온도에 달성하도록 하는 소프트웨어 명령이 포함되어 있습니다. 테스트 프로그램에는 장치 전원 공급 레일을 지정된 순서에 따라

켜거나 끄도록 지시하여 DUT 에 번인 전압을 적용하고, DUT 를 번인 온도로 가열하거나, 부품을 테스트하고 열을 발생시켜 원하는 번인 온도를 달성하도록 하는 소프트웨어 명령이 포함되어 있습니다.

**전기 하위체제:** 전기 하위체제에 공급되는 설비 AC 전원은 번인 플랫폼 내의 모든 구성요소에 AC 또는 DC 전원을 공급하는 벌크 전원 공급 장치로 조정됩니다. 각 제품에 대한 다양한 정상 및 과도 전력 요구 사항이 있습니다. 10 와트에서 100 와트까지 모든 전력 범위의 제품이 있습니다. 실행된 테스트 패턴 내에서 DUT 클럭킹 및 데이터 (신호) 요구 사항은 최종 제품 애플리케이션에 따라 다릅니다. 각 영역과 영역 내 각 슬롯에 전달되는 DC 전력은 필터링된 DC 레일들을 DUT 당 최대 2~3 개의 레일들로 출력하는 절연 전압 조정기를 구동합니다. 전압 조정기 출력들은 DUT 전력에 대해 0~8V 사이의 전압 범위 및 히터 전력에 대해 최대 24V 의 전압 범위로 프로그래밍 될 수 있습니다. 일반적인 DUT 전압 신호 스윙은 1.2V, 1.5V, 2.5V, 3.3V, 또는 5.0V 입니다. 번인에서 기기 전원 및 측정을 정확히 하는 것은 파일 테스트만큼 어렵지 않을 수 있습니다. 그러나 여전히  $\pm 20\text{mV}$  미만이며 해상도는  $\pm 2\text{mV}$  미만입니다. 기기 클럭킹 요구사항은 200MHz 미만입니다. 테스터 클럭은 기기에서 PLL(Phase Locked Loop)을 효과적으로 구동할 수 있도록 총 jitter 가 낮아야 합니다. (일반적으로 100 pS 미만) 모든 DUT 에 대한 클럭 분배는 BI 애플리케이션에 중요합니다.

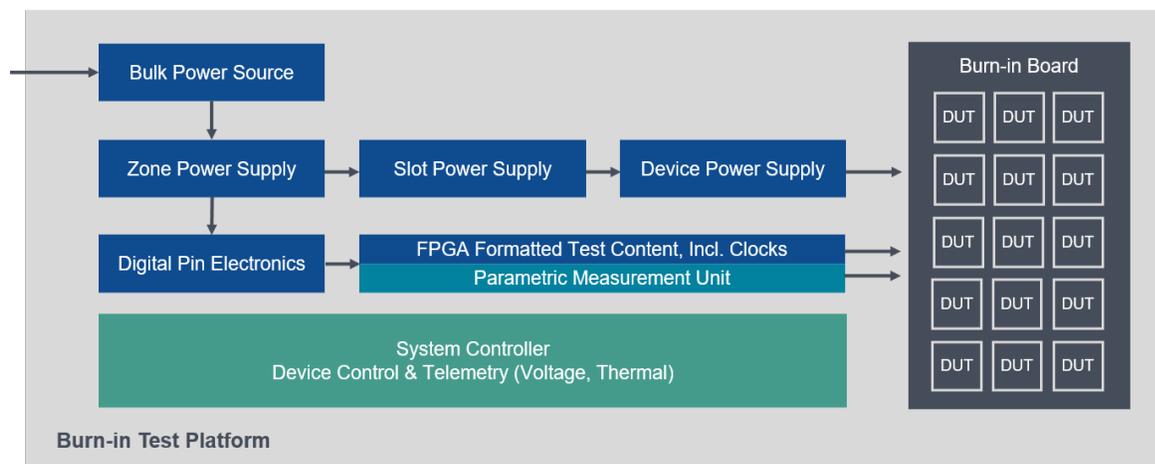


표 5: 상위 레벨 전기 하위체제 블록 다이어그램

기존 프로세서들은 IEEE 1149.1 JTAG(Joint Test Action Group) 호환 TAP(Test Access Port)[4]가 있으며, 소수의 정적 제어 디지털 핀과 함께 경계 스캔 및 BIST 콘텐츠를

송수신합니다. TAP 는 유한 상태 기계(FSM, Finite-State Machine)[4]가 있는 비교적 간단한 5 핀 직렬 인터페이스로, 수십 년 동안 모든 장치에 필요한 DFX(Design for Excellence)를 제공합니다. 기존의 와이드 I/O 메모리 BI 에는 메모리 컨트롤러, 테스트 모드에 따른 I/O 핀 수가 필요합니다. 이 경우 DUT 당 I/O 핀의 수는 128 핀 내지 150 핀까지 될 수 있습니다. BI 의 일반적인 시그널 인터페이스는 약 200 Mbps 미만으로 제한됩니다. 지난 10 년 동안, 대규모 병렬 BI 토폴로지의 비용 효율성을 활용하고 파이널 테스트 콘텐츠를 번인 테스트 단계로 재배치해야 한다는 요구가 있었지만, 콘텐츠와 테스트 장비의 복잡성 및 비용 간의 균형을 고려해야 합니다.

**열 하위체제:** 장치가 적절하고 일관된 번인을 받기 위해서는 엄격한 항온 장치 환경이 필수적입니다. 집적회로는 전력이 공급되면 가열되며, 클럭이 적용되고 장치 로직 및 아날로그/RF 블록들의 다양한 부분들이 작동할 때 추가 열이 발생합니다. 열량은 패키지의 크기 및 설계에 따라 테스트중인 기기의 번인 온도 도달에 적절할 수 있지만, 다른 소형 패키지에서는 원하는 번인 온도를 달성하기 위해 추가 BIB 또는 소켓 히터 전원이 필요할 수 있습니다. 번인 장비는 장치 전압 레일에 충분한 해상도와 정확도를 제공하여 엄격한 항온 환경을 구현합니다. 번인 장비는 챔버 구역과 개별 DUT 열 배열 및 히터가 패키지 변경과 작업의 동적 변화에 효과적이고 신속하게 대응할 수 있도록 설계되었습니다. 번인 테스트 단계의 또 다른 중요한 점은 이 테스트 단계에서 모든 프로세스 플로우의 제품을 처리해야 한다는 것입니다. 'High leakage' 가속 테스트 조건에서는 단락 또는 열 폭주 부품이 일반적인 이상치입니다. 더 높은 전력 분배 부품은 열적으로 문제가 발생하지 않도록 전압 레일 폴딩이 필요할 수 있습니다. 번인 장비는 치명적인 결과를 초래할 수 있는 모든 조건을 포착하여 안전한 공장 운영을 보장하도록 설계되었습니다.

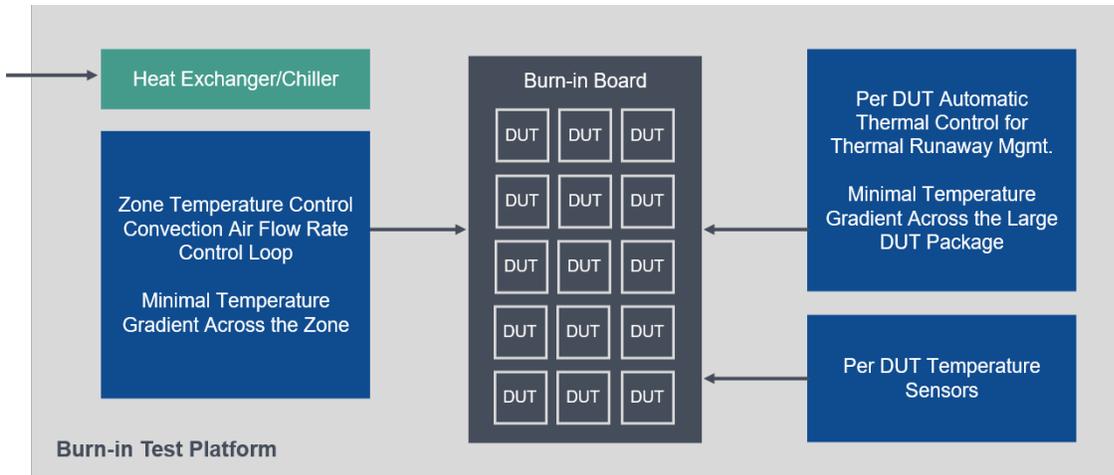


표 6: 상위 레벨 열 하위체제 블록 다이어그램

기계적 & 제품 핸들링: 번인 테스트 플랫폼의 주요 기계적 치수가 공장의 시설 제약 조건에 잘 맞는 것이 중요합니다. 플랫폼 설치 공간은 처리량을 극대화 하기 위해 공장 생산공간을 효과적으로 활용해야 합니다. 설비의 전력 및 공정 냉각수 (PCW) 공급 및 배출구는 현지 공장 요건에 맞게 조정할 수 있습니다. 작업 온도 범위를 위한 부품 및 열 유동의 정기적인 유지 보수는 원활하고 비용 효과적일 수 있습니다. 경우에 따라 재료 핸들러는 완전히 자동화되어 트레이에 분배된 제품을 처리합니다.

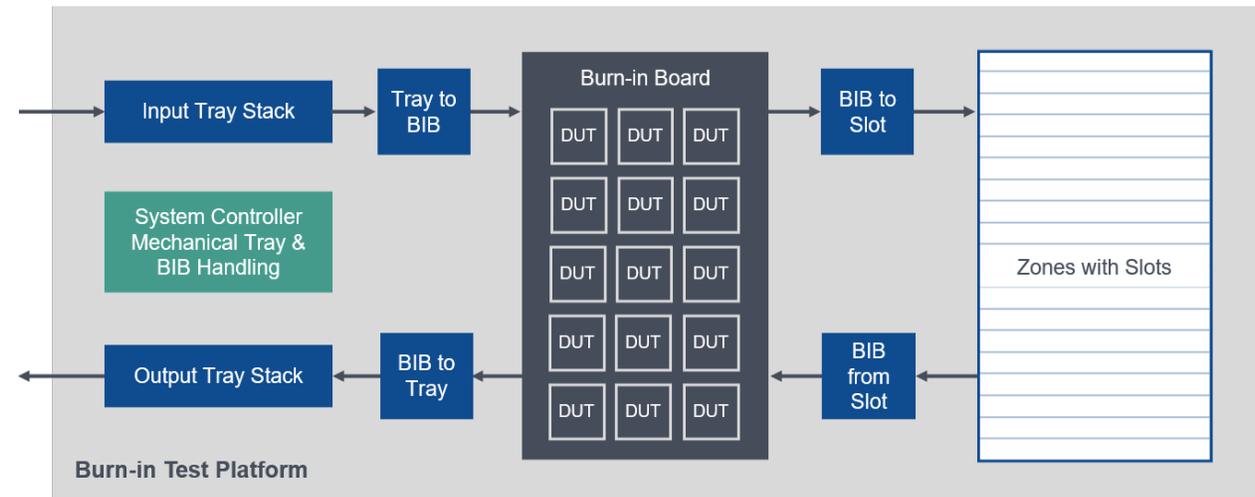


표 7: 상위 레벨 기계 및 제품 핸들링 하위 체제 블록 다이어그램

트레이의 DUT는 생산 테스트를 위해 번인 보드의 소켓에 놓인 후, 지정된 하드웨어 빈으로 정의된 후 다시 공장 작업자에게 반환됩니다.

**틀링:** 번인 플랫폼은 제품의 패키지 폼팩터에 맞는 번인 소켓 및 열 감지 방식으로 맞춤형 제작(틀링)됩니다. 이는 번인 플랫폼의 나머지 부분이 기기에 구매받지 않는 반면, BIB는 그렇지 않다는 것을 의미합니다. BIB 슬롯 당 기기 수는 관리가 중요한 복잡성을 보완합니다. 비용 목표를 충족하기 위해 패키지의 소켓 타입, 소켓 핀 타입 및 소켓 당 핀 수를 신중하게 선택해야 합니다. BIB 인쇄 회로 기반(PCB) 유형들은 일반적으로 FR4 변형이며, 비용과 성능 면에서 항상 허용되고 있습니다. 클럭, 신호, 전원 및 접지 전달 경로는 성능 메트릭을 충족하도록 신중하게 설계됩니다.



*표 8: 소켓, PCB, 프레임 및 신호, 전원 및 접지 커넥터가 있는 번인 보드. 출처: KES 시스템 [5]*

전문 번인 테스트 장비 공급업체에는 Advantest, MCC, UniFusion 등이 있으며 이외에도 많은 업체들이 있습니다. 이러한 공급업체는 각각 열, 전원, 번인 드라이버, 제품 및 BIB(패키지 크기 및 유형) 제품 처리 및 병렬 처리 범위에 맞춤형 플랫폼을 보유하고 있습니다.

## 요약

번인은 생산 테스트 플로우에서 중요하게 여겨지는 단계입니다. 이 프로세스의 일부인 첨단 자동화 공장 시스템은 품질 및 신뢰성 지표를 지속적으로 모니터링합니다. 테스트 특성을 충족할 뿐만 아니라 최대 처리량을 가진 최고의 번인 테스트 장비 공급업체와의 제휴를 통해 테스트 고객에게 최대 성능 달성 및 합리적인 가격으로 동급 최고의 번인 테스트 서비스를 제공합니다.

## 참고 자료

[1] 품질 및 신뢰성 요구사항 – [인터넷 자료](#)

[2] 내장형 프로세서의 유효 수명 계산 – [인터넷 자료](#)

[3] JEDEC - 제품 신뢰성의 아레니우스 방정식 – [인터넷 자료](#)

[4] "IEEE Standard Test Access Port and Boundary Scan Architecture," IEEE Std 1149.1-2001, vol., no., pp.1-212, 2001 July 2001, doi: 10.1109/IEEESTD.2001.92950 – [인터넷 자료](#)

[5] KES GenPower 시스템용 반도체 기기용 소켓이 있는 고온 번인 보드입니다. [인터넷 자료](#). KES 시스템은 번인 보드 & 소켓 공급업체입니다.